

RENÉ NACHTSHEIM

Einflussfaktoren auf die sensorische Wahrnehmung von
Fett und deren Auswirkung auf das Ernährungsverhalten

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. oec. troph.)
im Fachbereich Agrarwissenschaften, Ökotrophologie und Umweltmanagement
der Justus-Liebig-Universität Gießen



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

Die rechtliche Verantwortung für den gesamten Inhalt dieses Buches liegt ausschließlich bei dem Autor dieses Werkes.

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2014

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publishers.

1st Edition 2014

© 2014 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890
email: redaktion@doktorverlag.de

www.doktorverlag.de

Professur für Prozesstechnik in Lebensmittel-
und Dienstleistungsbetrieben

Justus-Liebig-Universität Gießen

**Einflussfaktoren auf die sensorische Wahrnehmung von
Fett und deren Auswirkung auf das Ernährungsverhalten**

Dissertation zur Erlangung des

**Doktorgrades der Ökotrophologie
(Dr. oec. troph.)**

im Fachbereich Agrarwissenschaften,
Ökotrophologie und Umweltmanagement
der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

René Nachtsheim, MSc

Gießen, November 2013

Tag der Prüfung : 21.05.2014

Vorsitzende: Prof. Dr. Dr. Annette Otte

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Elmar Schlich

2. Gutachter: Prof. Dr. Holger Zorn

Prüfer: Prof. Dr. Michael Krawinkel

Prüfer: Prof. Dr. Gertrud Morlock

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Elmar Schlich für die reibungslose Betreuung und die Möglichkeit, diese Arbeit am Institut für Prozesstechnik in Lebensmittel- und Dienstleistungsbetrieben anzufertigen. Ebenfalls möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Holger Zorn für die Übernahme des Zweitgutachtens bedanken.

Der Firma Walter Rau Lebensmittelwerke danke ich für die finanzielle und materielle Unterstützung, ohne die die Durchführung meiner Promotion nicht möglich gewesen wäre.

Ebenfalls möchte ich mich bei der Dr. Rainer Wild Stiftung für die Bereitstellung eines Stipendiums bedanken, welches es mir ermöglicht hat, die inhaltlichen und finanziellen Grundlagen für meine Promotion zu schaffen.

Weiterhin möchte ich mich besonders bei Anna Diemann MSc und Andrea Schollmeyer MSc für die aufopferungsvolle Mitarbeit während der Durchführung dieser Studie bedanken. Darüber hinaus möchte ich mich bei allen Mitarbeitern und Probanden bedanken, die an dieser Studie teilgenommen haben.

Mein außerordentlicher Dank gilt meiner Freundin Claudia, die in den vergangenen Jahren für mich da war und mir die nötige Energie gegeben hat diese Arbeit anzufertigen.

Kurzfassung

Die Auswahl von Lebensmitteln wird wesentlich durch deren sensorische Eigenschaften beeinflusst. Physiologische Veränderungen im Wahrnehmungssystem des Menschen könnten somit nicht nur die Wahrnehmung, sondern auch den Verzehr von Lebensmitteln beeinflussen. Ziel dieser Studie ist es, den Zusammenhang zwischen mehreren oralen physiologischen Faktoren und der Wahrnehmung sowie dem Verzehr von Fett näher zu untersuchen.

Zur Untersuchung dieses Zusammenhangs werden 121 Probanden an der Justus-Liebig-Universität Gießen rekrutiert. Hiervon nehmen 108 Probanden (80 weiblich, 28 männlich) an allen physiologischen Untersuchungen und sensorischen Tests teil. Es werden die Pilzpapillen (PP) auf der Zungenspitze gezählt, die Bitterkeit von 6-n-Propylthiouracil sowie der basale und mit Öl stimulierte Speichelfluss gemessen. Die Wahrnehmung von großen Fettgehaltsunterschieden wird anhand von Intensitätsschätzungen des Fettgehalts von Milch-Sahne-Mischungen mit 3,5 %, 16,75 %, 30,0 % und einer Emulsion mit 70,0 % Fett gemessen. Des Weiteren wird die Unterscheidungsfähigkeit zwischen Milchen mit 1,5 % und 3,5 % Fett sowie zwischen Emulsionen mit 70,0 % und 90,0 % Fett mit einem „A“ - „nicht-A“ Test gemessen. Der Fettverzehr wird mit einem Ernährungsprotokoll während vier Tagen sowie in einer realen Esssituation während drei Frühstücksbuffets erhoben.

Die Ergebnisse zeigen, dass Probanden mit einer geringen Anzahl an PP große Fettgehaltsunterschiede schlechter wahrnehmen als Probanden mit einer hohen Anzahl an PP. Die Stimulierbarkeit des Speichelflusses mit Öl korreliert positiv mit der Wahrnehmung von großen Fettgehaltsunterschieden. Ein Einfluss der physiologischen Faktoren auf den Fettverzehr wird ebenfalls nachgewiesen. Probanden mit einer geringen Anzahl an PP verzehren während des Frühstücksbuffets mehr Fett als Probanden mit einer hohen Anzahl an PP. Als Lebensmittel, die zu dem hohen Fettverzehr beitragen, werden Vollfettmilch und Vollfettmargarine identifiziert. Die Stimulierbarkeit des Speichelflusses mit Öl ist positiv mit dem Fettverzehr während vier Tagen korreliert. Die Intensitätsbewertungen des Fettgehaltes haben ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf den Fettverzehr. Die Wahrnehmung des Fettgehaltes von Milch mit 3,5 % Fett korreliert positiv und die Wahrnehmung von Sahne mit 30,0 % Fett korreliert negativ mit dem Fettverzehr während vier Tagen.

Die Anzahl der PP auf der Zungenspitze sowie die Stimulierbarkeit des Speichelflusses mit Öl beeinflussen die Wahrnehmung sowie den Verzehr von Fett und könnten somit Faktoren sein, die helfen zu erklären, warum manche Menschen fettreduzierte Lebensmittel ablehnen.

Abstract

The sensory properties of food are a main determinant in food selection. Since oral physiology has been suggested to influence the sensory perception of food, it might also influence food selection. The aim of this study was to further investigate the relationship between oral physiology, fat perception and the intake of fat.

In order to investigate this relationship, 121 Subjects were recruited into a larger observational study. Out of these, 108 subjects (80 female, 28 male) participated in all physiological and sensory tests. As to oral physiology the fungiform papilla (FP) count on the tongue tip, 6-n-propylthiouracil bitterness, unstimulated saliva flow and increase in salivary flow through oil stimulation were measured. To test the supra-threshold perception of fat, an intensity rating procedure was conducted using milk-cream mixtures with 3,5 %, 16,75 %, 30,0 % and a high-fat emulsion with 70,0 % fat. A-Not-A tests were conducted to measure the ability to discriminate between milk with 1,5 % and 3,5 % fat and to discriminate between a high fat emulsion with 70,0 % and 90,0 % fat. To measure fat intake, the subjects had to document their food intake during four days by way of a self-administrated food record and during three ad libitum breakfast buffet experiments which were offered at the university cafeteria.

The results showed that subjects with a low FP count perceived the fat content of milk-cream mixtures and a high fat emulsion less intensely than subjects with a high FP count. Likewise, salivary flow increase through oil stimulation was also positively correlated with supra-threshold fat perception. Both factors also influenced fat intake. Subjects with a low FP count consumed more fat during the breakfast buffet than subjects with a high FP count. Full-fat margarine and full-fat milk were identified as food items that contributed to the high intake of fat. The intake of fat was also significantly influenced by the increase in salivary flow through oil stimulation. Increase in salivary flow through oil stimulation was positively correlated with fat intake during four days. Fat intake was also influenced by supra-threshold fat perception. The perceived fat content of cream with 30,0 % fat was negatively correlated with the fat intake during the four days, whereas the perceived fat content of milk with 3,5 % fat was positively correlated with the fat intake during the four days.

These results suggest that the fungiform papilla count and saliva flow increase through oil stimulation might help to explain individual differences in fat intake and the reasons for rejecting fat reduced foods.

Liste der Publikationen

Artikel mit Gutachterverfahren:

Nachtsheim R., Schlich E. (2014). The influence of oral phenotypic markers and fat perception on fat intake during a breakfast buffet and in a 4-day food record. Food Quality and Preference, 32 (Part C), 173-183.

Nachtsheim R., Schlich E. (2013). The influence of 6-n-propylthiouracil bitterness, fungiform papilla count and saliva flow on the perception of pressure and fat. Food Quality and Preference, 29(2), 137-145.

Nachtsheim R., Schlich E. (2011). Die sensorische Wahrnehmung von Fett und deren Einfluss auf den Fettverzehr. ErnährungsUmschau, 58(10), 530-535.

Vorträge mit Gutachterverfahren:

Nachtsheim R., Schlich E. (2013). Fungiform papilla count and the ability to perceive fat influence food intake during a breakfast buffet. 10th Pangborn Sensory Science Symposium, Rio de Janeiro, 11.-15. August 2013.

Nachtsheim R., Schlich E. (2013). Einfluss der oralen Physiologie auf die Wahrnehmung und den Verzehr von Fett. 50. Wissenschaftlicher Kongress der Deutschen Gesellschaft für Ernährung, Bonn, 20.-22. März 2013.

Nachtsheim R. (2013). Einflussfaktoren auf die sensorische Wahrnehmung von Fett und deren Auswirkung auf das Ernährungsverhalten. Jahrestagung des Fachausschusses Haushaltstechnik in der Deutschen Gesellschaft für Hauswirtschaft (dgh), Koblenz, 28. Februar - 1. März 2013.

Nachtsheim R., Ludi R., Schlich E. (2012).: Eignung produktspezifischer und unspezifischer sensorischer Auswahltests zur Vorhersage der Panellistenperformance. 7. DLG-Lebensmitteltage, Darmstadt, 17.-18. September 2012.

Nachtsheim R., Ludi R., Schlich E. (2011). Verbesserungsmöglichkeiten bei der Durchführung und Auswertung von Unterschiedstests in der Lebensmittelindustrie. 6. DLG-Lebensmitteltage, Darmstadt, 21.-22. September 2011.

Poster mit Gutachterverfahren:

Nachtsheim R., Gere A., Sipos L., Ludi R., Kókai Z., Schlich E. (2013). Vergleich verschiedener Methoden zur Messung der Übereinstimmungsfähigkeit zwischen Prüfpersonen in konventionellen Profilprüfungen. Drei-Länder-Sensoriktag, Weihenstephan, 7.-8. November 2013. (Auszeichnung als „Bestes Poster“ und Jungsensoriker 2013)

Nachtsheim R., Ludi R., Schlich E. (2013). Entwicklung eines beschleunigten Lagertests zur Simulation von Fehleraromen in Margarine. 8. DLG-Lebensmitteltage, Stuttgart, 25.-26. September 2013. (Auszeichnung als "Bestes Poster")

Schneider D., Seuß-Baum I., Nachtsheim R., Schlich E. (2013). Perception of heat intensity affected by capsaicin in different model food matrices. 10th Pangborn Sensory Science Symposium, Rio de Janeiro, 11.-15. August 2013.

Nachtsheim R., Schlich E. (2012). Influence of fungiform papillae density, 6-n-Propylthiouracil sensitivity and saliva flow on fat perception. 5th European Conference on Sensory and Consumer Research, Bern (CH), 9.-12. September 2012.

Nachtsheim R., Ludi R., Schlich E. (2012). Relationship between product specific and unspecific screening tests and future performance of descriptive panellists. Poster on the 5th European Conference on Sensory and Consumer Research, Bern (CH), 9.-12. September 2012.

Artikel und Buchkapitel ohne Gutachterverfahren:

Nachtsheim R., Ludi R., Schlich E. (2014). Entwicklung eines beschleunigten Lagertests zur Simulation von Fehleraromen in Margarine. DLG-Lebensmittel, 2014 (1), 26-27.

Nachtsheim R. (2013). Fett schmeckt!? Der Einfluss der Fettwahrnehmung auf das Ernährungsverhalten. In: Käsebrötchen mit Marmelade? Geschmack ist mehr als schmecken. Hrsg. Dr. Rainer Wild Stiftung, 2013, 47-60.

Meyerhof W., Nachtsheim R. (2012). Fettig - die sechste Geschmacksqualität? Journal Culinaire - Kultur und Wissenschaft des Essens, 14, 8-12.

Nachtsheim R., Ludi R., Schlich E. (2012). Optimierung von Unterschiedstests in der Lebensmittelindustrie. DLG-Lebensmittel, 2012 (4), 12-14.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
Liste der verwendeten Symbole und Abkürzungen	IV
1 Projektbeschreibung	1
2 Fragestellung und Hypothesen	2
3 Studienlage	4
3.1 Die sensorische Wahrnehmung von Fett	4
3.2 Physiologische Einflussfaktoren auf die Wahrnehmung und den Verzehr von Fett	6
4 Einflussfaktoren auf die sensorische Wahrnehmung von Fett und deren Auswirkung auf das Ernährungsverhalten	10
4.1 Physiologische Faktoren und Wiederholungen	12
4.2 Einfluss der Bitterwahrnehmung von PROP auf die Wahrnehmung und den Verzehr von Fett	14
4.3 Einfluss der Pilzpapillen auf die Wahrnehmung und den Verzehr von Fett	16
4.4 Einfluss des Speichelflusses auf die Wahrnehmung und den Verzehr von Fett	18
4.5 Einfluss der Fettwahrnehmung auf den Fettverzehr	22
4.6 Übersicht zur Beurteilung der Hypothesen	24
5 Fazit	25
6 Literaturverzeichnis	26
Anhang	

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Hypothesen.	3
Abb. 2: Intensitätsbewertungen von fünf NaCl- und fünf PROP-Lösungen von Non-, Medium- und Supertastern.	13
Abb. 3: Intensitätsbewertungen des Fettgehaltes und der Cremigkeit sowie des Speichelflusses \pm Standardfehler in Abhängigkeit der Wiederholung.	13
Abb. 4: Einfluss des PROP-Status und der PROP-Bitterwahrnehmung auf die Fettwahrnehmung (a), den Verzehr während vier Tagen (b) und den Verzehr während drei Frühstücksbuffets (c) (Mittelwerte \pm Standardfehler).	14
Abb. 5: Einfluss der Anzahl der Pilzpapillen auf der Zungenspitze auf die Fettwahrnehmung (a), den Verzehr während vier Tagen (b) und den Verzehr während drei Frühstücksbuffets (c) (Mittelwerte \pm Standardfehler).	17
Abb. 6: Einfluss des basalen Speichelflusses auf die Fettwahrnehmung (a), den Verzehr während vier Tagen (b) und den Verzehr während drei Frühstücksbuffets (c) (Mittelwerte \pm Standardfehler).	19
Abb. 7: Einfluss des Anstiegs des Speichelflusses durch Stimulation mit Öl auf die Fettwahrnehmung (a), den Verzehr während vier Tagen (b) und den Verzehr während drei Frühstücksbuffets (c) (Mittelwerte \pm Standardfehler).	20
Abb. 8: Einfluss der Fettwahrnehmung auf den Fettverzehr.	23
Abb. 9: Übersicht der falsifizierten (rot), verifizierten (grün) und teilweise verifizierten (gelb) Hypothesen.	24

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Studienablauf.	10
Tab. 2: Beschreibende Statistik der physiologischen Parameter.	12

Liste der verwendeten Symbole und Abkürzungen

Abb	Abbildung
CD	Cluster of differentiation
g	Gramm
GPP	Probandengruppe mit einer geringen Pilzpapillenanzahl
GPR	G-Protein gekoppelte Rezeptoren
GSF	Probandengruppe mit einem geringen basalen Speichelfluss
GSFA	Probandengruppe mit einem geringen Anstieg des Speichelflusses
HPP	Probandengruppe mit einer hohen Pilzpapillenanzahl
HSF	Probandengruppe mit einem hohen basalen Speichelfluss
HSFA	Probandengruppe mit einem hohen Anstieg des Speichelflusses
LMS	Labeled Magnitude Scale
min	Minute
ml	Milliliter
mm	Millimeter
MS	Median Split
N	Anzahl
NaCl	Natrium Chlorid
p	Signifikanzniveau
pMT	6-n-Propylthiouracil Mediumtaster
pNT	6-n-Propylthiouracil Nontaster
PP	Pilzpapillen
PROP	6-n-Propylthiouracil
pST	6-n-Propylthiouracil Supertaster
pT	6-n-Propylthiouracil Taster
SF	Speichelfluss
SFA	Anstieg des Speichelflusses
Stabw	Standardabweichung
Tab	Tabelle

1 Projektbeschreibung

Die vorliegende Dissertation ist entstanden im Rahmen eines Kooperationsprojektes zwischen den Walter Rau Lebensmittelwerken und der Justus-Liebig-Universität Gießen. Das Projekt gliedert sich in zwei Teile. Das Ziel des ersten Teils ist der Transfer von aktuellen Studienergebnissen aus dem Bereich der Lebensmittelsensorik an den Produktionsstandort der Walter Rau Lebensmittelwerke in Hilter. Der Transfer umfasst den Aufbau sowie die Validierung eines Sensorikpanels für Margarine zur Durchführung von Unterschiedstests und konventionellen Profilprüfungen nach DIN 10967:1999. Um mit der gegebenen Anzahl an Panellisten die Teststärke bei Unterschiedstests zu erhöhen, werden verschiedene Unterschiedstests miteinander verglichen [Nachtsheim, Ludi, & Schlich, 2012]. Die Diskriminierungsfähigkeit und Reproduzierbarkeit des deskriptiven Panels wird anhand verschiedener statistischer Parameter nach ISO 11132:2012 überprüft und mit den verwendeten Auswahltests korreliert, um die Schulungszeit für neue Panellisten zu verkürzen [Nachtsheim, Ludi, & Schlich 2012]. Das deskriptive Panel wird in einem weiteren Schritt auf die sensorischen Veränderungen während der Lagerung von Margarine geschult, um einen beschleunigten Lagertest zu validieren. Es wird überprüft, ob die Entwicklung der margarinetypischen Fehlgerüche durch eine kürzere Lagerung bei erhöhter Temperatur simuliert werden kann [Nachtsheim, Ludi, & Schlich, 2014].

Der zweite Teil des Kooperationsprojektes umfasst die Grundlagenforschung im Bereich der sensorischen Wahrnehmung von Fett. Die Kenntnis über die aktuell diskutierten Wahrnehmungsmechanismen von Fett ist für die Walter Rau Lebensmittelwerke von besonderer Bedeutung, da Fett der Hauptbestandteil vieler Produkte ist, die von den Walter Rau Lebensmittelwerken hergestellt werden. Hierfür wird zunächst die aktuelle Studienlage zum Thema Fettwahrnehmung sowie mögliche physiologische Einflussfaktoren auf die Wahrnehmung und den Verzehr von Fett untersucht [Nachtsheim & Schlich, 2011]. Der Einfluss der physiologischen Faktoren auf die Wahrnehmung und den Verzehr von Fett sowie auf die Auswahl von fettreduzierten Lebensmitteln wird anschließend in einer Studie an der Justus-Liebig-Universität Gießen im Rahmen dieser Dissertation untersucht [Nachtsheim & Schlich, 2013, 2014].

2 Fragestellung und Hypothesen

Unabhängig von sozialen und kulturellen Einflüssen weisen Menschen eine generelle Vorliebe für fettreiche Lebensmittel auf [Bray, Paeratakul, & Popkin, 2004, Drewnowski & Popkin, 1997, Keding & Jordan Irmgard, 2008]. In Deutschland beträgt die Fettzufuhr bei Männern 36 % und bei Frauen 35 % der Gesamtenergiezufuhr und überschreitet somit den Richtwert von 30 %. Vor allem zusätzliche Fette, Fleisch/-erzeugnisse und Milch/-erzeugnisse tragen zu der erhöhten Fettzufuhr bei [Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, 2008]. Während die Auswirkungen eines hohen Fettverzehrs auf die Gesundheit weiterhin intensiv erforscht werden, wird der Ursache für die individuellen Unterschiede im Verzehr von fettreichen Nahrungsmitteln weniger Aufmerksamkeit geschenkt. Da die sensorischen Eigenschaften eines Lebensmittels bei der Auswahl eine wichtige Rolle spielen, könnte deren Wahrnehmungsfähigkeit ein wichtiger Einflussfaktor auf den Verzehr darstellen [Köster, 2009]. Die Wahrnehmung von Fett erfolgt wahrscheinlich über mehrere Wahrnehmungssysteme [Mattes, 2009a]. In Form von Triglyceriden wird Fett vorwiegend über seine Textureigenschaften durch das somatosensorische System wahrgenommen [Rolls, 2012]. Eine Wahrnehmung über die im Fett enthaltenen Fettsäuren durch das gustatorische System wird ebenfalls diskutiert [Galindo et al., 2012]. Dass Menschen in der Lage sind, Unterschiede im Fettgehalt von Lebensmitteln sowie Fettsäuren wahrzunehmen, wird in einer Vielzahl von sensorischen Studien nachgewiesen [Mattes, 2009b, Mattes, 2007, Tepper, Shaffer, & Shearer, 1994, Yackinous & Guinard, 2001]. Die Wahrnehmungsfähigkeit scheint dabei individuell verschieden zu sein und einen Einfluss auf den Fettverzehr zu haben. Aktuelle Studien zeigen, dass Menschen, die Unterschiede im Fettgehalt von Lebensmitteln sowie Fettsäuren schlechter wahrnehmen, mehr Fett verzehren als Menschen mit einer besseren Wahrnehmungsfähigkeit für Fett und Fettsäuren [Keller et al., 2012, Stewart et al., 2010]. Die Ursachen für die unterschiedliche Wahrnehmungsfähigkeit sind weitgehend unbekannt. Mögliche Einflussfaktoren könnten physiologische Unterschiede im gustatorischen und somatosensorischen Wahrnehmungssystem sein [Hayes & Duffy, 2007]. Die Rezeptoren der Geschmacks- und Texturwahrnehmung befinden sich, unter anderem, in den Pilzpapillen der Zunge [Galindo et al., 2012, Whitehead & Kachele, 1994, Whitehead, Beeman, & Kinsella, 1985]. Die Anzahl der Pilzpapillen könnte somit einen Einfluss auf die Fettwahrnehmung haben [Hayes & Duffy, 2007]. Des Weiteren könnte der Speichelfluss die Wahrnehmung der fettbedingten Textureigenschaften durch eine Erhöhung der Flüssigkeitsmenge im Mund sowie durch die im Speichel enthaltenen Schmierstoffe beeinflussen [Engelen, Wijk, Prinz, van der Bilt, &

Bosman, 2003, Neyraud, Palicki, Schwartz, Nicklaus, & Feron, 2012]. Ein in der Geschmacksforschung häufig angewendeter physiologischer Parameter zur Bestimmung der allgemeinen oralen Wahrnehmungsfähigkeit ist die Bitterwahrnehmung von 6-n-Propylthiouracil (PROP) [Duffy, 2007]. Die PROP Bitterwahrnehmung korreliert zwar mit der Anzahl der Pilzpapillen, scheint aber auch unabhängig von der Anzahl der Pilzpapillen als Marker für eine erhöhte Wahrnehmung von Geschmacks- und Textureigenschaften zu dienen [Hayes, Bartoshuk, Kidd, & Duffy, 2008].

Bisher existiert keine Studie, die an einer größeren Teilnehmerzahl mehrere orale physiologische Faktoren, die Fettwahrnehmung in Lebensmitteln sowie den Fettverzehr gleichzeitig untersucht hat. Die gleichzeitige Erhebung dieser Faktoren an einer Probandengruppe ist allerdings notwendig, um die psychologischen und physiologischen Faktoren eindeutig zu identifizieren, welche den Fettverzehr beeinflussen. Ziel dieser Studie ist es, den Zusammenhang zwischen der Anzahl der Pilzpapillen, der PROP Bitterwahrnehmung, dem Speichelfluss, der Fettwahrnehmung und dem Fettverzehr zu untersuchen. Abbildung 1 zeigt die zur Beantwortung dieser Fragestellung aufgestellten Hypothesen.

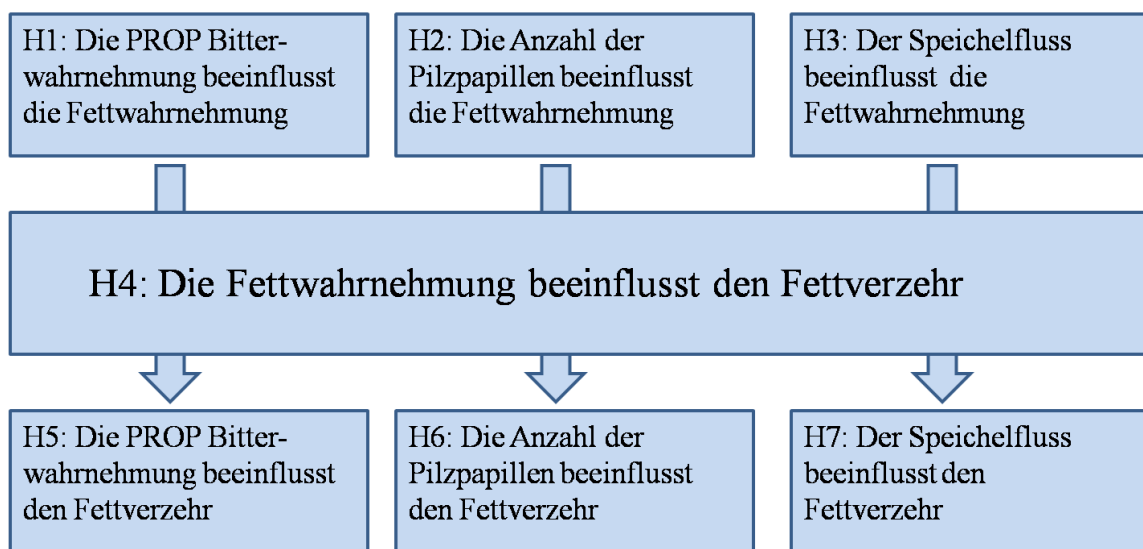


Abb. 1: Hypothesen.

Die Hypothese H3 ist in die Unterhypothesen, (H3.1) der basale Speichelfluss beeinflusst die Fettwahrnehmung, (H3.2) der Speichelfluss ist durch Fett stimulierbar und (H3.3) der stimulierte Speichelfluss beeinflusst die Fettwahrnehmung unterteilt. Zur Hypothese H7 sind die Unterhypothesen, (H7.1) der basale Speichelfluss beeinflusst den Fettverzehr und (H7.2) der stimulierte Speichelfluss beeinflusst den Fettverzehr, aufgestellt worden.

3 Studienlage

Der folgende Abschnitt stellt eine Zusammenfassung von Nachtsheim und Schlich (2011) unter der Berücksichtigung von aktuellen Studienergebnissen dar.

3.1 Die sensorische Wahrnehmung von Fett

Als mögliche Wahrnehmungsmechanismen für Fett kommen der Geruchs- und Geschmackssinn sowie das somatosensorische System in Frage. Während eine direkte Wahrnehmung über den Geruchssinn zurzeit weitgehend ausgeschlossen wird, gilt eine Wahrnehmung über den Geschmackssinn und das somatosensorische System als immer wahrscheinlicher [Mattes, 2009a]. Das somatosensorische System wird dabei als Hauptwahrnehmungsmechanismus für Fett in Form von Triglyceriden diskutiert [Rolls, 2012]. Über das somatosensorische System werden im Mund Temperatur-, Druck-, Bewegungs- und Schmerzreize wahrgenommen [Engelen & van der Bilt, 2008]. Insbesondere die Druckrezeptoren könnten bei der Wahrnehmung von Fett eine wichtige Rolle spielen, da diese die Reibung zwischen Lebensmittel und Gaumen sowie die Viskosität wahrnehmen [Rolls, 2012]. Die Druckrezeptoren befinden sich in den trigeminalen Nervenenden, welche die Geschmacksknospen umgeben und an der Spitze der Pilzpapillen lokalisiert sind [Whitehead & Kachele, 1994, Whitehead et al., 1985]. Studien, in denen die sensorischen Eigenschaften von flüssigen oder halbfesten fettreduzierten Lebensmitteln mit deren Vollfettvarianten verglichen werden, zeigen, dass vor allem Textureigenschaften, wie die Viskosität, Reibung und Cremigkeit, durch den Fettgehalt beeinflusst werden. Fettreduzierte Lebensmittel weisen häufig eine geringere Viskosität und höhere Reibung (geringere Feinheit) auf und in Folge dessen eine geringere Cremigkeit [Brennan & Tudorica, 2008, 2007, Weenen, Jellema, & Wijk, 2005, Wendin et al., 1997, Wijk & Prinz]. Die geringe Ausprägung dieser Eigenschaften in festen Lebensmitteln wird als Hauptgrund für die verminderte Wahrnehmung von Fett in festen Lebensmitteln angesehen [Tepper et al., 1994, Yackinous & Guinard, 2001]. Des Weiteren werden in neurophysiologischen Studien Neuronen identifiziert, die auf fettspezifische Viskositätsänderungen reagieren. Neuronen, die viskositätsunabhängig auf Fett reagieren, werden ebenfalls identifiziert. Als möglicher sensorischer Reiz wird hier die wahrgenommene Reibung diskutiert [Araujo & Rolls, 2004].

Neuere Studienergebnisse legen eine Beteiligung des Geschmackssinns an der Wahrnehmung von Fett nahe. In den Geschmacksknospen von Ratten werden die Fettsäurerezeptoren CD36, GPR40, GPR41, GPR43, GPR120 sowie ein auf Fettsäuren

reagierender Kaliumkanal identifiziert. Nagetiere ohne die Rezeptoren CD36, GPR40 oder GPR120 zeigen eine verminderte Wahrnehmungsfähigkeit und Präferenz für Fett. Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, dass Ratten Fett über den Geschmackssinn wahrnehmen [Cartoni et al., 2010, Gaillard et al., 2008, Laugurette et al., 2005]. In menschlichen Geschmacksknospen werden bisher nur die Fettsäurerezeptoren CD36 und GPR120 identifiziert. Inwiefern diese Rezeptoren in der Lage sind, beim Menschen ein Geschmackssignal zu erzeugen und weiterzuleiten, ist bisher nicht nachgewiesen [Galindo et al., 2012, Simons, Kummer, Luiken, & Boon, 2011]. Eine aktuelle Studie von Keller et al. (2012) zeigt hingegen, dass Veränderungen in der Gensequenz des CD36 Rezeptors die Wahrnehmung der Cremigkeit und des Fettgehaltes von Salatdressings sowie die Präferenz für zusätzliche Fette beeinflussen [Keller et al., 2012]. Dass der Mensch in der Lage ist, Fettsäuren in geringen Konzentrationen wahrzunehmen, wird in mehreren sensorischen Studien nachgewiesen. Da jedoch nicht alle Texturreize vollständig maskiert werden können, kann eine Beteiligung des somatosensorischen Systems nicht vollständig ausgeschlossen werden [Stewart et al., 2010]. Inwiefern die freigesetzte Menge an Fettsäuren im Mund ausreicht, um ein Geschmackssignal auszulösen, ist noch nicht eindeutig bewiesen. Ergebnisse einer aktuellen Studie legen nahe, dass durch die im Speichel enthaltene Lipase ausreichend Fettsäuren beim Kauprozess freigesetzt werden. Kulkarni und Mattes (2013) zeigen, dass beim Kauen von Lebensmitteln mit einem hohen Fettgehalt zwischen 20 und 60 μM der Fettsäuren Palm-, Öl-, Linol- und Stearinsäure freigesetzt werden. In Tierstudien haben diese Konzentrationen ausgereicht, um Rezeptorzellen für Fettsäuren zu depolarisieren [Kulkarni & Mattes, 2013]. Da freie Fettsäuren allerdings eher unangenehme sensorische Reize auslösen, ist fraglich, ob eine Wahrnehmung über den Geschmackssinn die Beliebtheit von Fett erklären kann. Gelöst in einer fetthaltigen Matrix, scheint sich die Wahrnehmung von Fettsäuren allerdings hin zu einem positiven fettigen sensorischen Eindruck zu ändern. Hieraus lässt sich schließen, dass Fett in Lebensmitteln vielleicht aus einer Kombination von Textur- und Geschmacksreizen wahrgenommen wird [Galindo et al., 2012].

Inwiefern die allgemeine Wahrnehmungsfähigkeit von Fettgehaltsunterschieden in Lebensmitteln den Fettverzehr beeinflusst, ist unter anderem, von Stewart et al. (2010) untersucht. Stewart et al. (2010) zeigen, dass Menschen, die Ölsäure in einer Emulsion häufiger erkennen, auch Fettgehaltsunterschiede in Pudding besser unterscheiden können und einen niedrigeren Fettverzehr aufweisen. Keller et al. (2012) bestätigen diese Ergebnisse für die Wahrnehmung von Fettgehaltsunterschieden in Salatdressings. Probanden die in sieben 3-Alternative-Forced-Choice Tests alle abweichenden Proben erkennen, haben weniger

zusätzliche Fette und fettreduzierte Lebensmittel verzehrt, als Probanden, die einen Unterschied in drei oder weniger Vergleichen erkennen [Keller et al., 2012].

3.2 Physiologische Einflussfaktoren auf die Wahrnehmung und den Verzehr von Fett

Als mögliche physiologische Einflussfaktoren auf die sensorische Wahrnehmung und den Verzehr von Fett werden zurzeit die Anzahl der Pilzpapillen, der Speichelfluss und die PROP Bitterwahrnehmung diskutiert. In den Pilzpapillen befinden sich Druckrezeptoren, die an der Texturwahrnehmung von Triglyceriden beteiligt sind, sowie Fettsäurerezeptoren, die eventuelle Geschmacksreize von Fettsäuren wahrnehmen [Galindo et al., 2012, Whitehead & Kachele, 1994, Whitehead et al., 1985]. Die Anzahl der Pilzpapillen könnte somit einen wesentlichen Einfluss auf die Wahrnehmung von Fett haben. Ob die Anzahl der Pilzpapillen die Wahrnehmung von Fett in Lebensmitteln beeinflusst, wird bisher nur in einer Studie von Hayes und Duffy (2007) untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Menschen mit zunehmender Anzahl der Pilzpapillen die Wahrnehmung des fettassoziierten Attributs Cremigkeit ansteigt [Hayes & Duffy, 2007]. In einer Anschlussstudie wird außerdem festgestellt, dass sich die Anzahl der Pilzpapillen ebenfalls auf die Akzeptanz für Fett auswirkt. Frauen mit einer hohen Anzahl an Pilzpapillen haben ein Fettgehaltsoptimum für Milch-Sahne-Mischungen, nach dessen Überschreiten die Akzeptanz abfällt, während bei Frauen mit einer geringen Anzahl an Pilzpapillen die Akzeptanz nach dem Überschreiten eines bestimmten Fettgehaltes, mit steigendem Fettgehalt gleich bleibt [Hayes & Duffy, 2008]. Inwiefern sich die Anzahl der Pilzpapillen auf den Verzehr von Fett oder die Auswahl von fettreduzierten Lebensmitteln auswirkt, ist bisher nicht untersucht.

Weitere physiologische Faktoren, die die Wahrnehmung von Fett beeinflussen könnten, sind der Speichelfluss sowie die Zusammensetzung des Speichels [Engelen & van der Bilt, 2008]. Speichel besteht zu 99 % aus Wasser und beinhaltet außerdem Proteine mit schmierenden Eigenschaften, die insbesondere die Wahrnehmung der fettbedingten Textureigenschaften beeinflussen könnten [Engelen et al., 2003, Neyraud et al., 2012]. Bisher wird lediglich ein Zusammenhang zwischen der Zugabe von vorher gesammeltem Speichel und der Wahrnehmung von Fett nachgewiesen. Je mehr Speichel hinzugefügt wird, desto schlechter werden die fettbedingten Textureigenschaften wahrgenommen [Engelen et al., 2003]. Des Weiteren wird gezeigt, dass das im Speichel vorkommende Protein Mucin die Wahrnehmung von Fett, aufgrund deren schmierenden Eigenschaften, verringert und das die

Enzyme Lipase und Lysozyme die Fettwahrnehmung erhöhen [Engelen et al., 2007, Neyraud et al., 2012]. Der Speichelfluss sowie dessen Zusammensetzung können durch Stimulation mit Geschmacks-, Geruchs- und taktilen Reizen verändert werden [Engelen et al., 2003]. Inwiefern der Speichelfluss durch Fett stimuliert werden kann und ob die Stimulierbarkeit einen Einfluss auf die Wahrnehmung und den Verzehr von Fett hat, ist bisher nicht untersucht.

Der in der Geschmacksforschung am häufigsten verwendete physiologische Indikator für die allgemeine sensorische Wahrnehmungsfähigkeit, ist die genetisch bedingte Bitterwahrnehmung von PROP [Duffy, 2007, Tepper, 2008]. Je nach der wahrgenommenen Bitterkeit von PROP können Menschen in PROP Nontaster (pNT) (geringe PROP Bitterwahrnehmung), PROP Mediumtaster (pMT) (mäßige PROP Bitterwahrnehmung) und PROP Supertaster (pST) (starke PROP Bitterwahrnehmung) eingeteilt werden. PST und pMT werden unter dem Begriff PROP Taster (pT) zusammengefasst. Die Einteilung in pNT, pMT und pST wird auch als PROP-Status bezeichnet [Bartoshuk, Duffy, & Miller, 1994]. Neuere Studien verwenden in der Regel nicht mehr den PROP-Status, sondern untersuchen den Einfluss der wahrgenommenen Bitterkeit einer 3,2 mM PROP-Lösung auf die Wahrnehmungsfähigkeit von Geschmacks- oder Texturreizen als kontinuierlichen Faktor [Hayes & Duffy, 2007].

Ein Zusammenhang zwischen PROP-Status und der Wahrnehmungsfähigkeit von Fett wird in mehreren, jedoch nicht in allen, Studien nachgewiesen. Duffy (1996) stellt fest, dass pT Milchprodukte mit hohem Fettgehalt (36,0 %) als cremiger bewerten als pNT. Eine weitere Studie von Tepper und Nurse (1997) zeigt, dass pST Unterschiede im Fettgehalt von Salatdressings (10,0 % und 40,0 % Fett) besser erkennen als pNT. Hayes und Duffy (2007) zeigen, dass die wahrgenommene Bitterkeit von 3,2 mM PROP mit der wahrgenommenen Cremigkeit von Milch-Sahne-Mischungen positiv korreliert. In einer Anschlussstudie von Hayes und Duffy (2008) wird außerdem festgestellt, dass die Bitterkeit von PROP ebenfalls die Akzeptanz beeinflusst. Probanden, die die Bitterkeit von PROP höher bewerten als die Bitterkeit von Quinin, benötigen weniger Fett, um ihr individuelles Cremigkeitsoptimum zu erreichen, als Probanden, die Quinin intensiver als PROP wahrnehmen [Hayes & Duffy, 2008]. Im Gegensatz dazu haben Drewnowski, Henderson und Barratt-Fornell (1998), Lim, Urban und Green (2008) sowie Yackinous und Guinard (2001) keinen Einfluss des PROP-Status auf die Wahrnehmungsfähigkeit von Fett nachweisen können. Häufig diskutierte Ursachen für die widersprüchlichen Ergebnisse sind Unterschiede in der Bestimmung des PROP-Status, die Verwendung von unterschiedlichen Skalen und Deskriptoren zur Messung

der Fettwahrnehmung, die Verwendung von unterschiedlichen Lebensmitteln und Fettgehaltsunterschieden sowie die unterschiedliche Anzahl an Pilzpapillen zwischen pNT, pMT und pST [Essick, Chopra, Guest, & McGlone, 2003, Yackinous & Guinard, 2001]. Letzteres wird auch als mögliche Ursache für eine erhöhte Wahrnehmung von Fett durch pST diskutiert. In mehreren Studien, jedoch nicht in allen, wird nachgewiesen, dass pST mehr Pilzpapillen besitzen als pMT oder pNT [Essick et al., 2003]. Es wird allerdings auch vermutet, dass der PROP-Status unabhängig von der Anzahl der Pilzpapillen die allgemeine Wahrnehmungsfähigkeit von taktilen Reizen und Geschmackreizen widerspiegelt [Hayes et al., 2008].

Studien, die den Zusammenhang zwischen PROP-Status und Fettverzehr untersucht haben, zeigen gegensätzliche Ergebnisse [Drewnowski, Henderson, & Cockcroft, 2007, Goldstein, Daun, & Tepper, 2007, Yackinous & Guinard, 2002]. Während Yackinous und Guinard (2002) feststellen, dass weibliche pST einen höheren Fettverzehr aufweisen als weibliche pNT, können Drewnowski et al. (2007) und Borazon, Villarino, Magbuhat, und Sabandal, (2012) keinen Zusammenhang zwischen PROP-Status und Fettverzehr nachweisen. Studien an Kindern zeigen wiederum, dass vor allem weibliche pNT mehr Energie und Fett in Form von zusätzlichen Fetten verzehren als weibliche pST [Goldstein et al., 2007, Keller, Steinmann, Nurse, & Tepper, 2002]. Unterschiedliche Methoden zur Erhebung des PROP-Status und des Fettverzehrs werden als mögliche Ursachen für die unterschiedlichen Ergebnisse diskutiert. Insbesondere die Erhebung des Fettverzehrs könnte einen großen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Studien, die retrospektive Methoden wie z. B. Verzehrshäufigkeitsfragebögen zur Messung des Fettverzehrs benutzen, sind anfällig für ein „underreporting“ von fettreichen Lebensmitteln [Brunner, Stallone, Juneja, Bingham, & Marmot, 2001, Carlsen et al., 2010]. Bei prospektiven Methoden wie z. B. Ernährungsprotokollen kommt noch das „undereating“ hinzu [Goris, Westerterp-Plantenga, & Westerterp, 2000]. Dies könnte zu einer Unterschätzung des Effektes des PROP-Status auf den Fettverzehr führen. Allerdings zeigen auch Studien, die den Verzehr direkt während einer Mahlzeit erheben, keine eindeutigen Ergebnisse. Während Kamphuis und Westerterp-Plantenga (2003) zeigen, dass pST mehr Fett verzehren als pNT, können Tepper, Neilland, Ullrich, Koelliker, und Belzer (2011) keinen Unterschied im Verzehr von Fett zwischen pST und pNT während eines Mittagsbuffets nachweisen. Ein Nachteil bei der Erhebung des direkten Verzehrs während einer Mittagsmahlzeit ist, dass der Fettverzehr lediglich über die verzehrte Menge und nicht durch die Entscheidung zwischen Lebensmitteln mit unterschiedlichem Fettgehalt beeinflusst wird [Tepper et al., 2011]. Die Erhebung des

Verzehrs während eines Frühstücksbuffets könnte besser geeignet sein, da hier verschiedene Lebensmittel mit unterschiedlichem Fettgehalt zur Auswahl stehen.

4 Einflussfaktoren auf die sensorische Wahrnehmung von Fett und deren Auswirkung auf das Ernährungsverhalten

Zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen oraler Physiologie, Fettwahrnehmung und Fettverzehr werden 121 Studenten von der Justus-Liebig-Universität Gießen über den Email Verteiler sowie über Aushänge rekrutiert. Ausschlusskriterien sind eine bestehende Schwangerschaft, Stillzeit, Laktoseintoleranz, chronische Krankheiten, Überempfindlichkeit gegenüber PROP und eine bestehende Diät. Der Ablauf der Studie ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1: Studienablauf.

Termin	Teilnehmer	Inhalt	Zeitraum
1	121	Einführungsveranstaltung	03.11.2010
2	116	Pilzpapillen Druckwahrnehmung* PROP Bitterwahrnehmung	12.11.-30.11.2010
3 - 5	108	Speichelfluss Fettwahrnehmung	01.12.- 18.12.2010
6 - 8	103	Frühstücksbuffet	17.01.-04.02.2011
	107	Ernährungsprotokoll	07.11.-13.11.2010

*Für eine genaue Beschreibung der Methode und der Ergebnisse siehe (Nachtsheim & Schlich, 2013)

Als physiologische Faktoren werden die Anzahl der Pilzpapillen auf der Zungenspitze gezählt, der basale und mit Öl stimulierte Speichelfluss gemessen sowie die PROP Bitterwahrnehmung bestimmt. Die sensorischen Tests zur Bestimmung der Wahrnehmungsfähigkeit von Fett sowie die Speichelflussmessungen werden dreimal wiederholt. Zur Messung der Wahrnehmungsfähigkeit von großen Fettgehaltsunterschieden werden Intensitätsbewertungen des Fettgehaltes und der Cremigkeit von Milch-Sahne-Mischungen mit 3,5 %, 16,75 % und 30,0 % Fett und einer Emulsion mit 70,0 % Fett durchgeführt. Als Skala wird eine 100 mm Linienskala mit den Deskriptoren „sehr niedrig“ und „sehr hoch“ verwendet. Zusätzlich wird die Wahrnehmungsfähigkeit von kleinen Fettgehaltsunterschieden mit Hilfe von „A“ - „nicht-A“ Tests bestimmt. Es wird die Unterscheidungsfähigkeit zwischen Milchen mit 1,5 % und 3,5 % Fett sowie Emulsionen mit 70,0 % und 90,0 % Fett gemessen. Für die Auswertung der „A“ - „nicht-A“ Tests wird der R-Index nach Macmillan und Creelman (2005) berechnet (siehe Tabelle A-24).

Der Fettverzehr wird während vier Tagen mit einem Ernährungsprotokoll sowie während drei Frühstücksbuffets in der Mensa des Otto-Eger Heims erhoben. Die Auswertung der Ernährungsprotokolle sowie der Frühstücksbuffets erfolgt mit dem Programm DGE PC 4.2 (DGE e. V. Bonn, Deutschland) unter der Verwendung des Bundeslebensmittelschlüssels Version II.3. Als Variablen werden der mittlere Verzehr von Kohlenhydraten, Fett und Protein pro Tag bzw. pro Frühstück berechnet. Für das Ernährungsprotokoll wird außerdem der Verzehr von „zusätzlichen Fetten“ berechnet. Hierzu gehören Streichfette, Sahne, Mayonnaise, Salatdressings, Fette und Öle. Für das Frühstücksbuffet wird zusätzlich der Verzehr von Streichfetten, Milch, Wurst und Käseprodukten mit unterschiedlichen Fettstufen berechnet. SPSS 19 für Windows (SPSS Inc., Chicago, Illinois) wird für die statistische Auswertung verwendet und 0,05 als Signifikanzniveau festgelegt.

Die meisten Studien, die den Zusammenhang zwischen oraler Physiologie, Fettwahrnehmung und Fettverzehr untersucht haben, verwenden in den statistischen Modellen für die physiologischen Faktoren unterschiedliche Skalenniveaus. Die physiologischen Faktoren werden entweder als kontinuierliche oder als diskrete Variable behandelt. Um die Ergebnisse dieser Studie mit den Ergebnissen früherer Studien vergleichbar zu machen, wird der Einfluss der physiologischen Faktoren als kontinuierliche und als diskrete Variable berechnet. Diese Vorgehensweise wird ebenfalls von Welch, Schwartz, und Woloshin (2005) empfohlen. Die Umwandlung der kontinuierlichen Variablen in eine diskrete Variable erfolgt für den Speichelfluss und die Anzahl an Pilzpapillen mittels Median Split. Beim Median Split werden die Probanden nach einer Eigenschaft in zwei Gruppen eingeteilt. Ist die Ausprägung der Eigenschaft kleiner oder gleich dem Median wird der Proband in eine „gering“ Gruppe eingeteilt. Ist die Ausprägung der Eigenschaft oberhalb des Medians wird der Proband in eine „hoch“ Gruppe eingeteilt. Die Einteilung nach der Bitterwahrnehmung gegenüber PROP in pNT, pMT und pST erfolgt nach einer modifizierten Version von Bartoshuk et al. (1994), die auf einem visuellen Vergleich der psychophysikalischen Funktionen der wahrgenommenen Intensitäten von fünf PROP- und fünf NaCl-Lösungen mit unterschiedlichen Konzentrationen basiert. Probanden, die die NaCl-Lösungen intensiver wahrnehmen als die PROP-Lösungen werden als pNT klassifiziert. Probanden, die beide Lösungen gleich intensiv wahrnehmen, werden als pMT klassifiziert. Nehmen Probanden die PROP-Lösungen intensiver wahr als die NaCl-Lösungen, werden Sie in die pST-Gruppe eingeteilt. Der Einfluss der physiologischen Faktoren auf die Wahrnehmungsfähigkeit von Fett wird mittels einer Varianzanalyse mit Messwiederholung bzw. Kovarianzanalyse mit Messwiederholung überprüft. Der Einfluss der physiologischen Faktoren und der Fettwahrnehmung auf den Fettverzehr mit einer

Multivariaten Varianzanalyse bzw. Multivariaten Kovarianzanalyse berechnet. Tendenzen ($p < 0.1$) werden berichtet, wenn ein physiologischer Faktor im kontinuierlichen oder diskreten Modell einen signifikanten Einfluss hat oder wenn frühere Studien ein signifikantes Ergebnis zeigen.

4.1 Physiologische Faktoren und Wiederholungen

Die Probanden werden mittels Median Split anhand der Anzahl der Pilzpapillen auf der Zungenspitze, des basalen Speichelflusses und des Anstiegs des Speichelflusses in eine „gering“ und eine „hoch“ Gruppe eingeteilt. Tabelle 2 zeigt die Mediane, die zur Einteilung der Gruppen verwendet werden sowie weitere beschreibende statistische Parameter der physiologischen Faktoren.

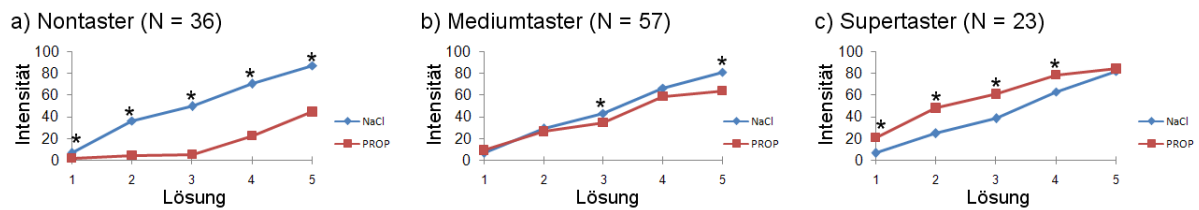
Tab. 2: Beschreibende Statistik der physiologischen Parameter [Nachtsheim & Schlich, 2013: 141].

	Mittelwert	Stabw.	Variationsbreite	Median	Gruppe	N	Mittelwert
PP (28,3 mm ²)	31,86	6,81	12 bis 51	31,5	Gering	59	26,64
					Hoch	57	37,26
SF (g/min)	0,43	0,21	0.08 bis 1.32	0,39	Gering	54	0,28
					Hoch	54	0,59
SFA (g/min)	0,06	0,10	-0.28 bis 0.42	0,05	Gering	54	-0,01
					Hoch	54	0,13

PP=Pilzpapillen; SF=Speichelfluss; SFA=Anstieg des Speichelflusses; Stabw=Standardabweichung

Hinsichtlich der PROP Bitterwahrnehmung werden die Probanden in pNT (N = 36), pMT (N = 57) und pST (N = 23) eingeteilt. Um die optische Einteilung der Taster Gruppen zu validieren, wird überprüft, ob sich die Wahrnehmung der NaCl- und PROP-Lösungen innerhalb der Gruppen signifikant unterscheidet (Abbildung 2). Die pNT-Gruppe nimmt alle NaCl-Lösungen signifikant intensiver wahr als die PROP-Lösungen. Die pMT-Gruppe bewertet lediglich zwei NaCl-Lösungen höher als die PROP-Lösungen. Die pST-Gruppe nimmt alle PROP-Lösungen bis auf die höchste signifikant intensiver wahr als die NaCl-Lösungen. Alle drei Gruppen unterscheiden sich demnach in der Wahrnehmung des Bitterstoffes PROP im Vergleich zu NaCl. Die pST-Gruppe hat die höchste Anzahl an Pilzpapillen auf der Zungenspitze (34) nach der pNT-Gruppe (32) und der pMT-Gruppe (31). Dieser Unterschied ist allerdings nicht signifikant. Im Gegensatz dazu korreliert die Bitterkeit

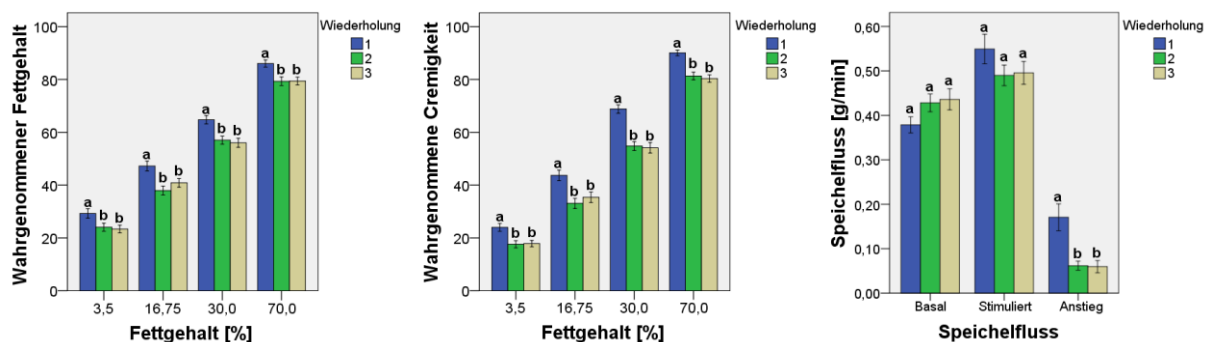
der 3,2 mM PROP-Lösung positiv mit der Anzahl der Pilzpapillen. Eine weitere signifikante Korrelation besteht zwischen der Anzahl der Pilzpapillen und der Stimulierbarkeit des Speichelflusses mit Öl. Beide Faktoren sind allerdings negativ miteinander korreliert.



Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den 6-n-Propylthiouracil (PROP) und den NaCl Lösungen sind mit * gekennzeichnet.

Abb. 2: Intensitätsbewertungen von fünf NaCl- und fünf PROP-Lösungen von Non-, Medium- und Supertastern.

Die Analyse der Wiederholungen zeigt, dass es signifikante Unterschiede bei der Bewertung des Fettgehaltes, der Cremigkeit und der Messung des Speichelflusses gibt (Abbildung 3). Die Bewertung des Fettgehaltes und der Cremigkeit ist in der ersten Wiederholung signifikant höher als in der Zweiten und Dritten. Dies wird auch als Level-Effekt bezeichnet und unterstreicht die Notwendigkeit von Wiederholungen bei Intensitätsbewertungen durch ungeschulte Probanden. Bei der Messung des Speichelflusses zeigen sich ebenfalls Unterschiede zwischen der ersten und der zweiten sowie dritten Wiederholung, welche für den Anstieg des Speichelflusses durch Stimulation mit Öl sogar signifikant sind (Abbildung 3). Zur Berechnung der mittleren Intensitätsbewertungen des Fettgehaltes und der Cremigkeit sowie des mittleren Speichelflusses werden deshalb nur die Wiederholungen zwei und drei verwendet.

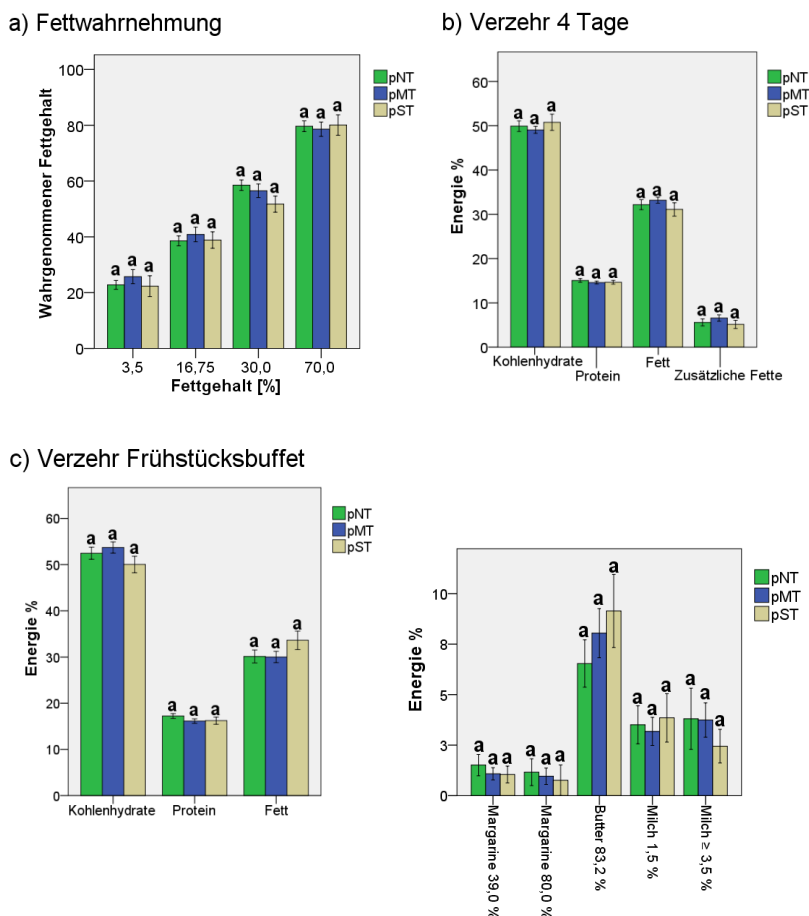


Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Wiederholungen sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet.

Abb. 3: Intensitätsbewertungen des Fettgehaltes und der Cremigkeit sowie des Speichelflusses ± Standardfehler in Abhängigkeit der Wiederholung.

4.2 Einfluss der Bitterwahrnehmung von PROP auf die Wahrnehmung und den Verzehr von Fett

Die Ergebnisse zeigen keinen signifikanten Einfluss der Bitterwahrnehmung von PROP bzw. des PROP-Status auf die Wahrnehmung von Fett (Abbildung 4). Die aufgestellte Hypothese 1 sowie die Studienergebnisse von Hayes und Duffy (2007), Tepper und Nurse (1997) und Duffy (1996) können nicht bestätigt werden. Methodische Unterschiede und Einschränkungen in der gewählten Methode zur Bestimmung der PROP Bitterwahrnehmung und des PROP-Status könnten die unterschiedlichen Ergebnisse erklären.



Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen PROP Nontastern (pNT), PROP Mediumtastern (pMT) und PROP Supertastern (pST) sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet. Besteht ein signifikanter Unterschied, wenn die wahrgenommene Bitterkeit einer 3,2 mM PROP Lösung als kontinuierliche Variable verwendet wird, wird dies mit * gekennzeichnet.

Abb. 4: Einfluss des PROP-Status und der PROP-Bitterwahrnehmung auf die Fettwahrnehmung (a), den Verzehr während vier Tagen (b) und den Verzehr während drei Frühstücksbuffets (c) (Mittelwerte \pm Standardfehler) [mod. nach Nachtsheim & Schlich, 2013:142, Nachtsheim & Schlich, 2014:178,179].

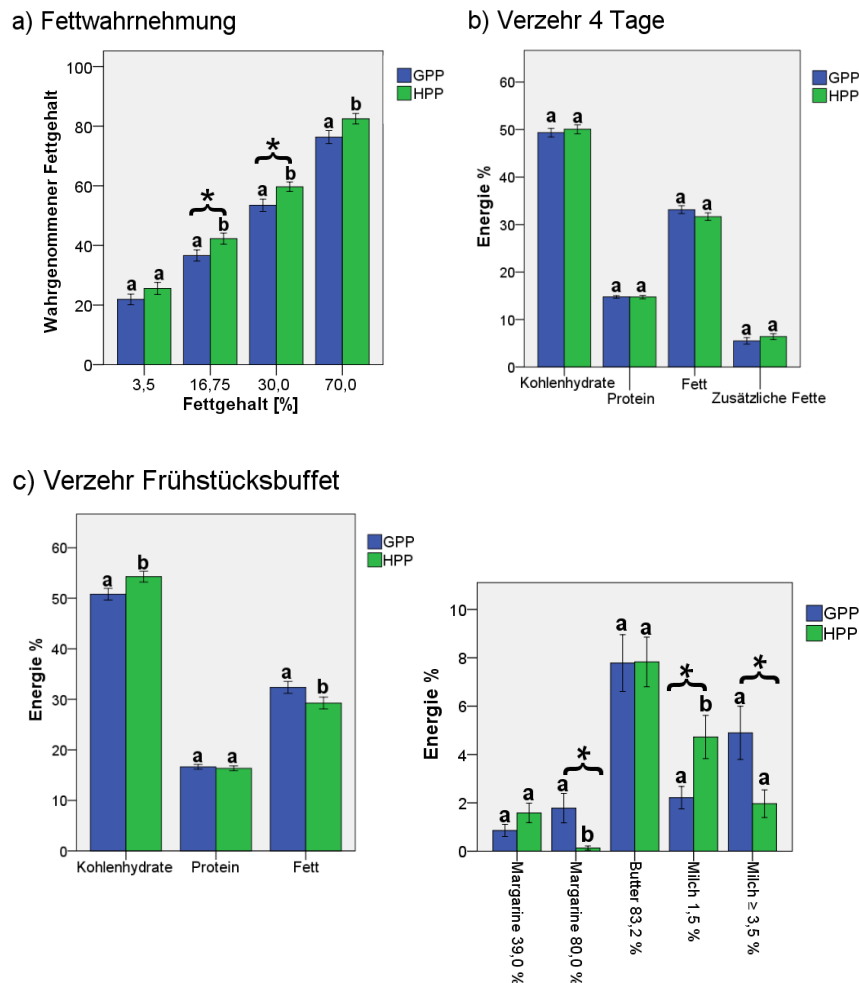
Für die optische Einteilung des PROP-Status wird in dieser Studie die Salzigkeit von NaCl als Referenz verwendet. Mehrere Studien haben gezeigt, dass die Wahrnehmung der Salzigkeit mit dem PROP-Status variiert [Bajec & Pickering, 2008, Hayes, Sullivan, & Duffy, 2010, Yeomans, Tepper, Rietzschel, & Prescott, 2007]. Die Verwendung von Referenzen, die unabhängig von der Geschmackswahrnehmung sind, wie z. B. Töne oder Licht, können zu größeren messbaren Unterschieden in der sensorischen Wahrnehmung zwischen den Taster Gruppen führen [Bartoshuk et al., 2003]. Des Weiteren sind für die Bewertung der PROP Bitterwahrnehmung, Cremigkeit und Fettgehalt Skalen verwendet worden, die nicht außerhalb eines oralen Kontext verallgemeinerbar sind. Die Deskriptoren der „Labeled Magnitude Scale“ (LMS) sowie der 100 mm Linienskala haben nicht dieselbe Intensitätsbedeutung für die untersuchten Gruppen oder einzelne Probanden. Die Verwendung der LMS oder Linienskala anstelle der „allgemeinen“ LMS, welche die Deskriptoren von „stärkste vorstellbare orale Wahrnehmung“ auf die „stärkste vorstellbare Wahrnehmung jeder Art“ ausweitet, kann zu einer Unterschätzung oder sogar zu einer Umkehr des Effekts der PROP Bitterwahrnehmung auf die Wahrnehmung von Fett führen [Bartoshuk, Duffy, Hayes, Moskowitz, & Snyder, 2006, Yeomans et al., 2007]. Die Verwendung von NaCl als Standard und von Skalen, die nicht außerhalb eines oralen Kontextes verallgemeinerbar sind, könnten somit zu einer Verminderung des Effekts der PROP Bitterwahrnehmung und des PROP-Status geführt haben und so die nicht signifikanten Ergebnisse teilweise erklären [Bartoshuk et al., 2006].

Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen PROP-Status und Fettverzehr ist ebenfalls nicht nachgewiesen und Hypothese 4 somit nicht bestätigt. Die Ergebnisse zeigen lediglich eine Tendenz, dass pST mehr Fett während des Frühstückbuffets verzehren als pNT. Diese Tendenz ist übereinstimmend mit den Ergebnissen von Kamphuis und Westerterp-Plantenga (2003), welche zeigen, dass pST während einer Mittagsmahlzeit mehr Fett verzehren als pNT. Yackinous und Guinard (2002) haben ebenfalls nachgewiesen, dass pST mehr Fett verzehren als pNT. Des Weiteren besteht eine signifikante Interaktion zwischen dem Geschlecht und dem PROP-Status auf die Energieaufnahme während des Frühstückbuffets. Männliche pST nehmen während des Frühstückbuffets mehr Energie zu sich als männliche pNT, während weibliche pNT und pST ein umgekehrtes Verhalten aufweisen. Interessanterweise zeigt die Energieaufnahme aus dem Ernährungsprotokoll die gleiche Interaktion, welche allerdings nicht die Signifikanzgrenze überschreitet ($p < 0.1$). Der Effekt des PROP-Status scheint somit geschlechtsspezifisch zu sein. Dabei muss beachtet werden, dass die Gruppe der männlichen pST sehr klein ist ($N = 7$), weshalb die Ergebnisse mit einer größeren Anzahl an männlichen

Versuchsteilnehmern validiert werden müssen. Des Weiteren muss beachtet werden, dass in dieser Studie die kognitive Kontrolle des Ernährungsverhaltens nicht erfasst wird. Insbesondere der Verzehr von fettreichen Produkten und somit der Gesamtfettverzehr kann durch ein kognitiv kontrolliertes Essverhalten beeinflusst werden [Alexander & Tepper, 1995]. Der Ausschluss von Probanden mit einer hohen kognitiven Kontrolle im Ernährungsverhalten oder der Einbezug der kognitiven Kontrolle als Variable in das statistische Modell könnte die Effektstärke der physiologischen Parameter auf den Fettverzehr erhöhen.

4.3 Einfluss der Pilzpapillen auf die Wahrnehmung und den Verzehr von Fett

Die Anzahl der Pilzpapillen hat einen signifikanten Einfluss auf die Wahrnehmung und den Verzehr von Fett. Die Probandengruppe mit einer hohen Anzahl an Pilzpapillen nimmt den Fettgehalt der Milch-Sahne-Mischungen mit 16,75 %, 30,0 % und 70,0 % Fett intensiver wahr als die Probandengruppe mit einer geringen Anzahl an Pilzpapillen (Abbildung 5a). Wird die Anzahl der Pilzpapillen als kontinuierliche Variable verwendet, bleibt der signifikante Effekt bestehen. Die Wahrnehmung des Fettgehaltes steigt signifikant mit der Anzahl der Pilzpapillen für die Proben mit 16,75 % und 30,0 % Fett an. Die aufgestellte Hypothese 2 wird somit bestätigt. Hayes und Duffy (2007) haben einen ähnlichen Zusammenhang zwischen der Anzahl der Pilzpapillen und der Fettwahrnehmung nachweisen können. Allerdings haben Hayes und Duffy (2007) das Attribut Cremigkeit zur Bestimmung der Fettwahrnehmung verwendet. Ein Zusammenhang zwischen Cremigkeit und der Anzahl der Pilzpapillen wird in dieser Studie hingegen nicht nachgewiesen. Die mögliche Ursache könnte eine unterschiedliche semantische Bedeutung des Wortes Cremigkeit in der deutschen und englischen Sprache sein. Die englische Übersetzung „creaminess“ basiert auf dem Milchprodukt „cream“, welches in der deutschen Sprache „Sahne“ bedeutet. Das deutsche Wort Cremigkeit basiert allerdings auf dem Wort „Creme“ welches ein Überbegriff für Puddings und geschlagene Sahne sowie bestimmte Kosmetikprodukte ist. Die zugrunde liegenden Attribute zur Bewertung der Cremigkeit könnten somit in beiden Probandengruppen unterschiedlich sein.



Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen Probanden mit einer geringen Anzahl an Pilzpapillen (GPP) und Probanden mit einer hohen Anzahl an Pilzpapillen (HPP) sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet. Besteht ein signifikanter Zusammenhang, wenn die Anzahl der Pilzpapillen als kontinuierliche Variable verwendet wird, wird dies mit * gekennzeichnet.

Abb. 5 Einfluss der Anzahl der Pilzpapillen auf der Zungenspitze auf die Fettwahrnehmung (a), den Verzehr während vier Tagen (b) und den Verzehr während drei Frühstücksbuffets (c) (Mittelwerte \pm Standardfehler) [mod. nach Nachtsheim & Schlich, 2013:142, Nachtsheim & Schlich, 2014:178/179].

Ein Einfluss der Pilzpapillenanzahl auf die Unterscheidungsfähigkeit zwischen Milch mit 1,5 % und 3,5 % Fett und Emulsionen mit 70,0 % und 90,0 % Fett wird nicht nachgewiesen. Die Anzahl der Pilzpapillen scheint somit nur die Wahrnehmung von großen Fettgehaltsunterschieden zu beeinflussen. Dabei muss beachtet werden, dass die berechneten R-Indizes kleiner als 65,0 % sind. Es besteht deshalb die Möglichkeit, dass die gewählten Unterschiede zu klein sind, um einen Einfluss der physiologischen Parameter festzustellen.

Ein signifikanter Einfluss der Anzahl der Pilzpapillen auf den Fettverzehr wird ebenfalls nachgewiesen. Die Probandengruppe mit einer geringen Anzahl an Pilzpapillen hat während des Frühstücksbuffets einen höheren Anteil an Energie durch Fett und einen niedrigeren Anteil

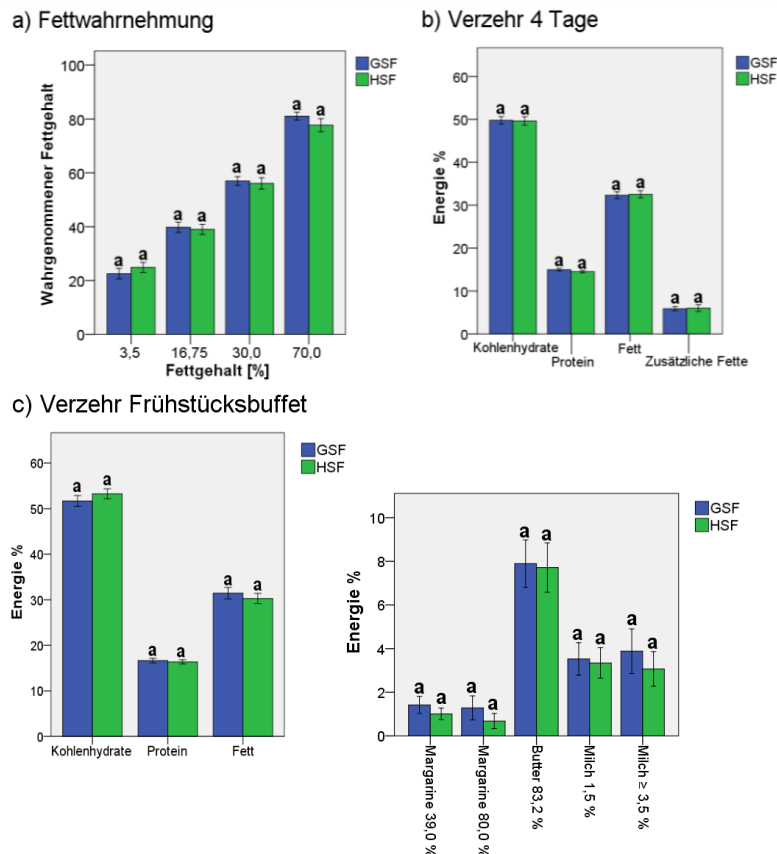
an Energie durch Kohlenhydrate verzehrt als die Probandengruppe mit einer hohen Anzahl an Pilzpapillen (Abbildung 5c). Dieses Ergebnis bestätigt Hypothese 6. Allerdings wird im kontinuierlichen Modell nur eine Tendenz festgestellt, dass mit einer steigenden Anzahl an Pilzpapillen der Fettverzehr sinkt. Als Lebensmittel, die bei den Probanden mit einer hohen Anzahl an Pilzpapillen zu einem hohen Fettverzehr beitragen, werden Milch mit 3,5 % Fett und Margarine mit 80,0 % Fett identifiziert. Die Probandengruppe mit einer niedrigen Anzahl an Pilzpapillen verzehrt einen signifikant höheren Anteil an Energie durch Margarine mit 80,0 % Fett und einen niedrigeren Anteil an Energie durch Milch mit 1,5 % Fett im Vergleich zur Probandengruppe mit einer hohen Anzahl an Pilzpapillen. Im kontinuierlichen Modell sinken der Verzehr von Margarine mit 80,0 % Fett sowie der Verzehr von Milch mit 3,5 % Fett mit einer steigenden Anzahl der Pilzpapillen. Der Verzehr von Milch mit 1,5 % Fett steigt mit der Anzahl der Pilzpapillen an. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl der Pilzpapillen und dem aus dem Ernährungsprotokoll erhobenen Verzehr von zusätzlichen Fetten und Gesamtfett kann nicht beobachtet werden (Abbildung 5b).

Aus der Bestätigung der Hypothesen 2 und 6 kann demnach geschlossen werden, dass die Anzahl der Pilzpapillen über eine Veränderung der Fettwahrnehmung den Fettverzehr beeinflusst. Die Anzahl der Pilzpapillen stellt jedoch nur ein sehr ungenaues Maß für die mögliche Anzahl an Rezeptoren dar, von denen angenommen wird, dass sie an der Fettwahrnehmung beteiligt sind. Des Weiteren werden nicht alle Pilzpapillen von Nerven innerviert. Die Anzahl der Geschmacksknospen könnte einen genaueren physiologischen Faktor darstellen. Allerdings existieren zurzeit keine Methoden, die eine schnelle Erhebung der Geschmacksknospen und der Reizweiterleitung der Zunge an einer großen Probandengruppe ermöglichen.

4.4 Einfluss des Speichelflusses auf die Wahrnehmung und den Verzehr von Fett

Der basale Speichelfluss hat keinen signifikanten Einfluss auf die Wahrnehmung und den Verzehr von Fett (Abbildung 6). Die Ergebnisse können somit die Hypothesen 3.1 und 7.1 nicht bestätigen und stehen in Übereinstimmung mit früheren Studienergebnissen [Engelen et al., 2003, Guinard, Zoumas-Morse, & Walchak, 1997, Neyraud et al., 2012]. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass die Probanden an ihren basalen Speichelfluss gewöhnt sind und deshalb die individuelle Variabilität keinen Einfluss auf die Wahrnehmung und den Verzehr von Fett hat. Im Gegensatz dazu wird die Hypothese 3.2 bestätigt. Der Speichelfluss ist durch

die Stimulation mit Öl signifikant angestiegen. Das Ausmaß des Anstieges beeinflusst die Wahrnehmung von Fett signifikant, wenn der Anstieg des Speichelflusses im statistischen Model als kontinuierliche Variable verwendet wird (Abbildung 7a). Die Wahrnehmung des Fettgehaltes der Proben mit 3,5 % und 16,75 % Fett steigt mit der Stimulierbarkeit des Speichelflusses signifikant an. Hypothese 3.3 wird durch dieses Ergebnis bestätigt.

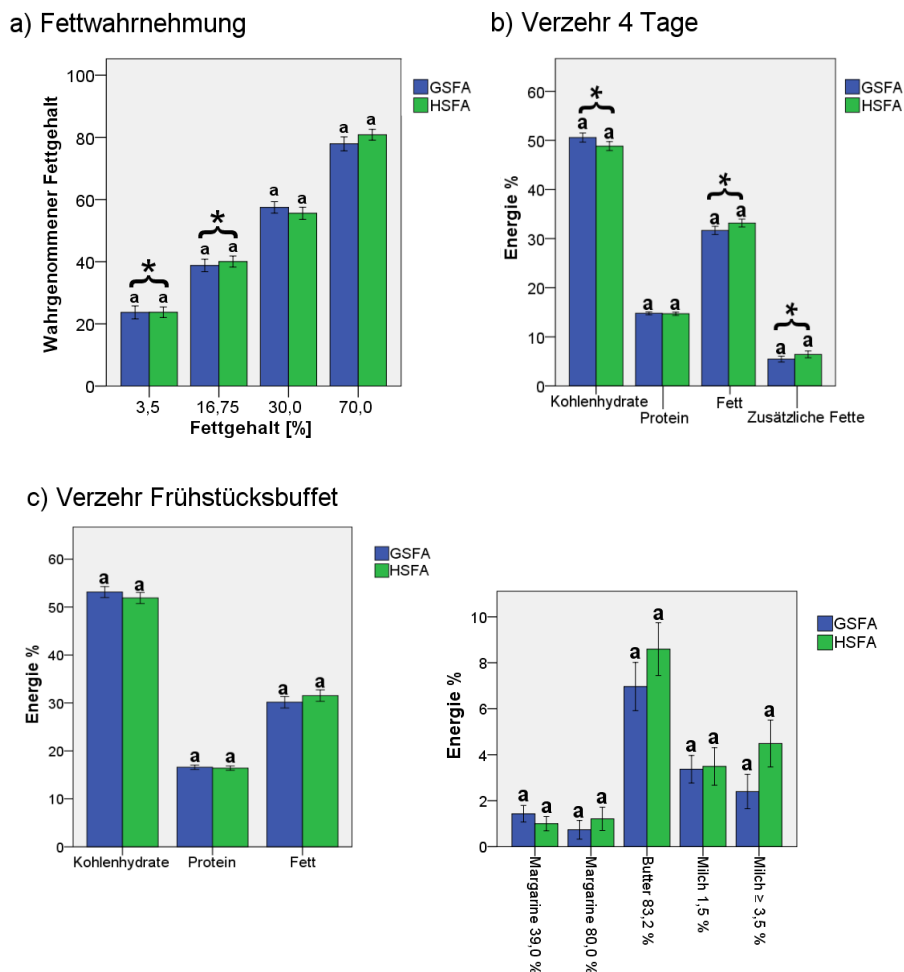


Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen Probanden mit einem geringen Speichelfluss (GSF) und Probanden mit einem hohen Speichelfluss (HSF) sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet. Besteht ein signifikanter Zusammenhang, wenn der Speichelfluss als kontinuierliche Variable verwendet wird, wird dies mit * gekennzeichnet.

Abb. 6: Einfluss des basalen Speichelflusses auf die Fettwahrnehmung (a), den Verzehr während vier Tagen (b) und den Verzehr während drei Frühstücksbuffets (c) (Mittelwerte \pm Standardfehler) [mod. nach Nachtsheim & Schlich, 2013:142 ; Nachtsheim & Schlich, 2014:178/179].

Eine nähere Untersuchung der Daten des stimulierten Speichelflusses zeigt, dass bei 26 Probanden der Speichelfluss nicht ansteigt. Die Fettwahrnehmung dieser Gruppe ist für die Proben mit 3,5 %, 16,75 % und 30,0 % signifikant geringer als bei Probanden, dessen Anstieg des Speichelflusses größer null ist. Ob die erhöhte Fettwahrnehmung die Ursache oder die Folge des erhöhten Speichelflusses ist, ist nicht eindeutig. Da der Anstieg des Speichelflusses

allerdings negativ mit der Anzahl der Pilzpapillen korreliert, kann angenommen werden, dass die gesteigerte Fettwahrnehmung die Folge des erhöhten Speichelflussanstieges ist. Die Ursache für die intensivere Fettwahrnehmung ist wahrscheinlich eine Verdünnung der Speichelproteine. Engelen et al. (2007) zeigen, dass die Konzentration der Speichelproteine negativ mit der Fettwahrnehmung korreliert und dass die Konzentration mit der Stimulation abnimmt.



Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen Probanden mit einem geringen Anstieg im Speichelfluss (GSFA) und Probanden mit einem hohen Anstieg des Speichelflusses (HSFA) sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet. Besteht ein signifikanter Zusammenhang, wenn der Anstieg des Speichelflusses als kontinuierliche Variable verwendet wird, wird dies mit * gekennzeichnet.

Abb. 7 Einfluss des Anstiegs des Speichelflusses durch Stimulation mit Öl auf die Fettwahrnehmung (a), den Verzehr während vier Tagen (b) und den Verzehr während drei Frühstücksbuffets (c) (Mittelwerte \pm Standardfehler) [mod. nach Nachtsheim & Schlich, 2013:142, Nachtsheim & Schlich, 2014:178,179].

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Anstieg des Speichelflusses und dem Fettverzehr kann ebenfalls nur nachgewiesen werden, wenn der Speichelfluss als

kontinuierliche Variable verwendet wird (Abbildung 7b). Der Verzehr von zusätzlichen Fetten und Gesamtfett während der dokumentierten vier Tage steigt mit der Stimulierbarkeit des Speichelflusses signifikant an. Ein physiologischer Faktor, der die Wahrnehmung von Fett erhöht, muss demnach nicht zwangsläufig zu einem geringen Fettverzehr führen. Der Bereich des Fettgehaltes, dessen Wahrnehmung durch den jeweiligen physiologischen Faktor beeinflusst wird, könnte hier eine entscheidende Rolle spielen. Während der Anstieg des Speichelflusses die Spannweite von 3,5 % bis 30,0 % beeinflusst, hat die Anzahl der Pilzpapillen einen Einfluss auf die Spannweite von 16,75 % bis 70,0 % Fett. Die gesteigerte Wahrnehmung bei niedrigen Fettgehalten könnte zu einem höheren hedonischen Nutzen und einem erhöhten Verzehr von Produkten mit geringem Fettgehalt führen, während eine gesteigerte Wahrnehmung von höheren Fettgehalten zu einer Absenkung des Fettgehaltsoptimums führen und somit Lebensmittel mit hohem Fettgehalt unattraktiv machen könnte. Der in dieser Studie untersuchte Zusammenhang zwischen Fettwahrnehmung und Fettverzehr bestätigt diese Annahme (siehe Kapitel 4.5).

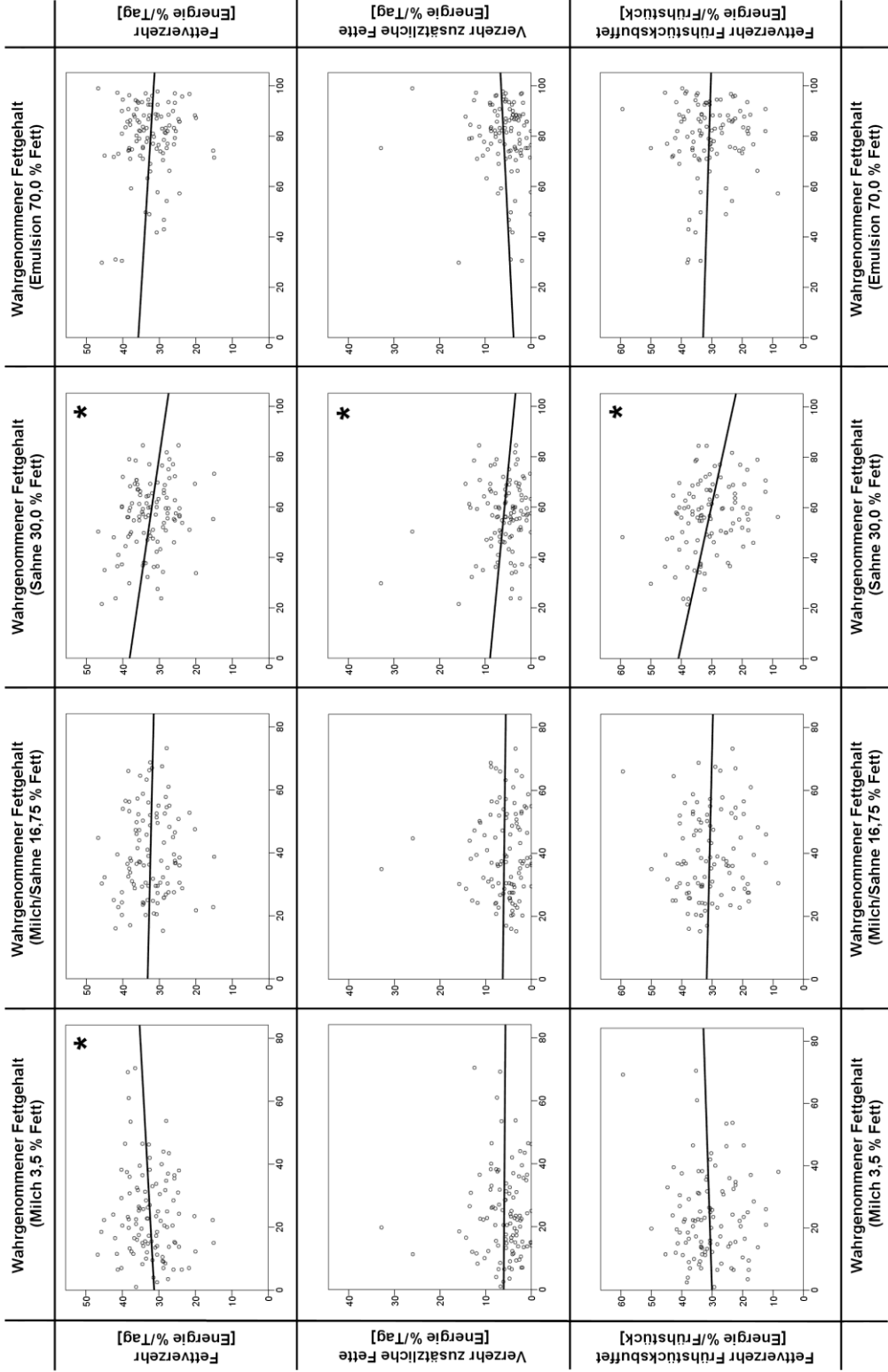
Bei der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass das Ausmaß des Speichelflussanstieges sehr gering ist und dass der Speichel nicht direkt von den Speicheldrüsen gesammelt wird. Es kann deshalb nicht ausgeschlossen werden, dass Ölrreste im Mundraum verblieben sind, die erst bei der Messung des stimulierten Speichelflusses abgegeben werden [Dresselhuis, Stuart, van Aken, Schipper, & Hoog, 2008]. Der gemessene Anstieg des Speichelflusses könnte somit auch ein Maß für die Haftungsfähigkeit von Öl im Mundraum der Probanden sein. Eine höhere Haftungsfähigkeit und die daraus resultierende erhöhte Verweildauer von Öl im Mund könnten ebenfalls zu einer erhöhten Wahrnehmung von Fett führen [Pivk et al., 2008].

Die Bestätigung der Hypothesen 3.2, 3.3 und 7.2 zeigen, dass die Stimulierbarkeit des Speichels durch Öl einen Einfluss auf die Wahrnehmung und den Verzehr von Fett hat. Diese Ergebnisse bedürfen einer Überprüfung mit Methoden, die den Speichel direkt von den Speicheldrüsen sammeln. Des Weiteren sollte die Zusammensetzung des Speichels und dessen Veränderung während der Stimulation weiter untersucht werden, um die möglichen Ursachen für eine erhöhte Fettwahrnehmung zu identifizieren. Insbesondere die Konzentration der Speichelproteine sowie die Aktivität der Lipase könnten hier von besonderer Bedeutung sein.

4.5 Einfluss der Fettwahrnehmung auf den Fettverzehr

Um den Einfluss der Fettwahrnehmung auf den Fettverzehr zu überprüfen, wird die Wahrnehmungsfähigkeit von kleinen und großen Fettgehaltsunterschieden gemessen. Einen signifikanten Einfluss auf den Fettverzehr zeigt lediglich die Wahrnehmung des Fettgehaltes von Milch mit 3,5 % Fett und von Sahne mit 30,0 % Fett (Abbildung 8). Probanden, die den Fettgehalt von Sahne höher bewerten, nehmen während des Frühstücksbuffets und während der protokollierten vier Tage signifikant weniger Energie durch Fett zu sich, als Probanden die den Fettgehalt niedriger einschätzen. Die Ergebnisse sind in Übereinstimmung mit Keller et al. (2012) und Stewart et al. (2010), die ebenfalls einen negativen Zusammenhang zwischen Fettwahrnehmung und Fettverzehr nachgewiesen haben. Des Weiteren wird ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Wahrnehmung von Sahne und dem Verzehr von zusätzlichen Fetten festgestellt. Probanden, die Sahne intensiver wahrnehmen, haben in den protokollierten vier Tagen weniger zusätzliche Fette konsumiert, als Probanden, die den Fettgehalt niedriger einschätzen.

Im Gegensatz dazu nehmen Probanden, die den Fettgehalt von Milch mit 3,5 % Fett intensiver wahrnehmen, signifikant mehr Fett in vier Tagen zu sich, als Probanden, die den Fettgehalt niedriger bewerten. Aus diesem Ergebnis lässt sich schließen, dass die Richtung des Zusammenhangs zwischen Fettwahrnehmung und Fettverzehr von der Spannweite des Fettgehaltes abhängig sein könnte, die als intensiver wahrgenommen wird. Eine intensivere Wahrnehmung von Lebensmitteln mit geringen Fettgehalten könnte zu einer erhöhten Schmackhaftigkeit und einem erhöhten Verzehr dieser Lebensmittel führen, während eine intensivere Wahrnehmung von hohen Fettgehalten zu einer Senkung des Fettgehaltsoptimums führen kann und dadurch Lebensmittel mit hohen Fettgehalten unattraktiv macht. Zukünftige Studien sollten deshalb neben der Wahrnehmungsfähigkeit von Fett ebenfalls die Akzeptanz messen und die individuellen Fettgehaltsoptima bestimmen.



Signifikante Zusammenhänge ($p < 0,05$) sind mit * gekennzeichnet

Abb. 8: Einfluss der Fettwahrnehmung auf den Fettverzehr [Nachtsheim & Schlich, 2014:179].

4.6 Übersicht zur Beurteilung der Hypothesen

Abbildung 9 zeigt, welche der aufgestellten Hypothesen falsifiziert und verifiziert werden. Hypothese H1 wird falsifiziert während Hypothese H2 verifiziert wird. Hypothese 3 wird nur teilweise verifiziert. Die Unterhypothese H3.1 wird falsifiziert während die Unterhypothesen H3.2 und H3.3 verifiziert werden. Die Anzahl der Pilzpapillen (Hypothese H2) sowie die Stimulierbarkeit des Speichelflusses durch Öl (Unterhypothese H3.3) beeinflussen die Wahrnehmung von Fett. Die sensorische Wahrnehmungsfähigkeit von Fett beeinflusst ebenfalls den Fettverzehr. Hypothese H4 wird somit verifiziert. Hypothese H5 wird falsifiziert während Hypothese H6 verifiziert wird. Hypothese H7 wird nur teilweise verifiziert. Die Unterhypothese H7.1 wird falsifiziert während die Unterhypothese H7.2 verifiziert wird. Der Fettverzehr wird von der Anzahl der Pilzpapillen (Hypothese H6) und der Stimulierbarkeit des Speichelflusses durch Öl (Unterhypothese H7.2) beeinflusst.

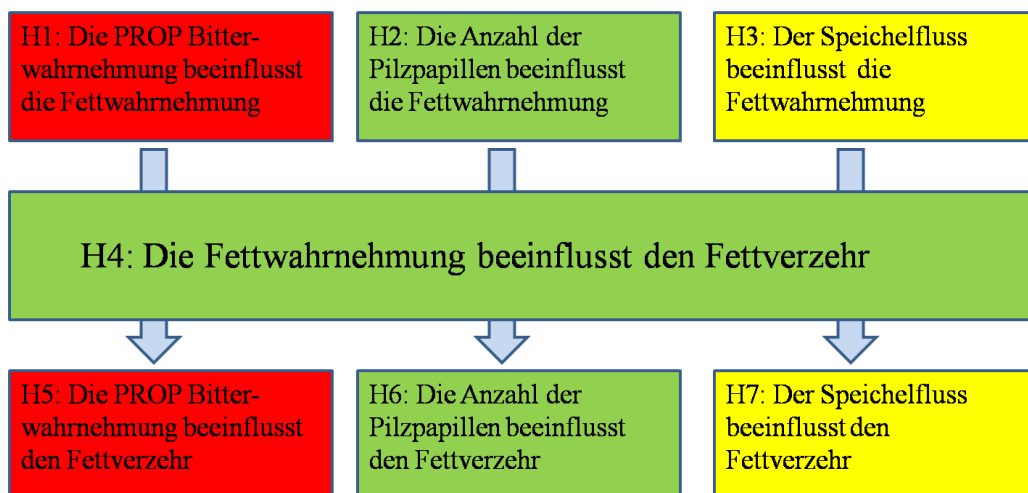


Abb. 9: Übersicht der falsifizierten (rot), verifizierten (grün) und teilweise verifizierten (gelb) Hypothesen.

5 Fazit

Die Anzahl der Pilzpapillen sowie die Stimulierbarkeit des Speichelflusses werden als physiologische Faktoren identifiziert, welche die Wahrnehmung sowie den Verzehr von Fett beeinflussen. Die Berücksichtigung dieser Faktoren könnte in Zukunft helfen, fettreduzierte Lebensmittel mit einer höheren Akzeptanz zu entwickeln und die Umsetzung von Ernährungsempfehlungen zu erleichtern. Beide Faktoren stellen allerdings nur sehr oberflächliche physiologische Faktoren dar. Die Messung der Anzahl der Geschmacksknospen und der Konzentration von Speichelproteinen sowie die Messung der Speichellipaseaktivität stellen genauere physiologische Faktoren dar und sollten in Zukunft vermehrt erhoben werden. Hierfür müssen zunächst Methoden entwickelt werden, die eine schnelle und einfache Messung an einer größeren Probandenanzahl erlauben.

Ein Einfluss der Fettwahrnehmung auf den Fettverzehr konnte in dieser Studie ebenfalls nachgewiesen werden. Ob eine intensivere Wahrnehmung von Fett zu einem höheren oder niedrigeren Fettverzehr führt, scheint vom Fettgehaltsbereich abhängig zu sein. Die Identifizierung von Fettgehaltsoptima für verschiedene Lebensmittel und deren Einfluss auf den Fettverzehr könnte helfen, den Zusammenhang zwischen Fettwahrnehmung und Fettverzehr genauer zu beschreiben.

6 Literaturverzeichnis

- Alexander, J. M., & Tepper, B. J. (1995). Use of Reduced-Calorie/Reduced-Fat Foods by Young Adults: Influence of Gender and Restraint. *Appetite*, 25(3), 217–230.
- Araujo, I. E. de, & Rolls, E. T. (2004). Representation in the human brain of food texture and oral fat. *The Journal of neuroscience*, 24(12), 3086–3093.
- Bajec, M. R., & Pickering, G. J. (2008). Thermal taste, PROP responsiveness, and perception of oral sensations. *Physiology & Behavior*, 95(4), 581–590.
- Bartoshuk, L. M., Duffy, V. B., Fast, K., Green, B. G., Prutkin, J., & Snyder, D. J. (2003). Labeled scales (e.g., category, Likert, VAS) and invalid across-group comparisons: what we have learned from genetic variation in taste. *Food Quality and Preference*, 14(2), 125–138.
- Bartoshuk, L. M., Duffy, V. B., Hayes, J. E., Moskowitz, H. R., & Snyder, D. J. (2006). Psychophysics of sweet and fat perception in obesity: problems, solutions and new perspectives. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 361(1471), 1137–1148.
- Bartoshuk, L. M., Duffy, V. B., & Miller, I. J. (1994). PTC/PROP tasting: anatomy, psychophysics, and sex effects. *Physiology & behavior*, 56(6), 1165–1171.
- Borazon, E. Q., Villarino, B. J., Magbuhat, R. M. T., & Sabandal, M. L. (2012). Relationship of PROP (6-n-propylthiouracil) taster status with body mass index, food preferences, and consumption of Filipino adolescents. *Food Research International*, 47(2), 229–235.
- Bray, G. A., Paeratakul, S., & Popkin, B. M. (2004). Dietary fat and obesity: a review of animal, clinical and epidemiological studies: Dietary Fat and Energy Balance-Myths and Facts. *Physiology & Behavior*, 83(4), 549–555.
- Brennan, C. S., & Tudorica, C. M. (2008). Carbohydrate-based fat replacers in the modification of the rheological, textural and sensory quality of yoghurt: comparative study of the utilisation of barley beta-glucan, guar gum and inulin. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(5), 824–833.
- Brunner, E., stallone, D., Juneja, M., bingham, S., & Marmot, M. (2001). Dietary assessment in Whitehall II: comparison of 7 d diet diary and food-frequency questionnaire and validity against biomarkers. *British Journal of Nutrition*, 86(03), 405–414.

- Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel (Hrsg.). (2008). *Nationale Verzehrsstudie II, Ergebnisbericht, Teil 2*.
- Carlsen, M., Lillegaard, I., Karlsen, A., Blomhoff, R., Drewnowski, C., & Andersen, L. (2010). Evaluation of energy and dietary intake estimates from a food frequency questionnaire using independent energy expenditure measurement and weighed food records. *Nutrition Journal*, 9(1), 37.
- Cartoni, C., Yasumatsu, K., Ohkuri, T., Shigemura, N., Yoshida, R., Godinot, N., Le Coutre, J., Ninomiya, Y., & Damak, S. (2010). Taste Preference for Fatty Acids Is Mediated by GPR40 and GPR120. *Journal of Neuroscience*, 30(25), 8376–8382..
- DIN (Deutsches Institut für Normung). (1999). DIN 10967: Konventionelles Profil. Profilprüfung = Investigation of profiles: Teil 1. Berlin: Beuth.
- Dresselhuys, D. M., Stuart, M. A. C., van Aken, G. A., Schipper, R. G., & Hoog, E. H. A. de. (2008). Fat retention at the tongue and the role of saliva: Adhesion and spreading of ‘protein-poor’ versus ‘protein-rich’ emulsions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 321(1), 21–29.
- Drewnowski, A., Henderson, S. A., & Barratt-Fornell, A. (1998). Genetic sensitivity to 6-n-propylthiouracil and sensory responses to sugar and fat mixtures. *Physiology & behavior*, 63(5), 771–777.
- Drewnowski, A., Henderson, S. A., & Cockcroft, J. E. (2007). Genetic sensitivity to 6-n-propylthiouracil has no influence on dietary patterns, body mass indexes, or plasma lipid profiles of women. *Journal of the American Dietetic Association*, 107(8), 1340–1348.
- Drewnowski, A., & Popkin, B. M. (1997). The nutrition transition: new trends in the global diet. *Nutrition reviews*, 55(2), 31–43.
- Duffy, V. B. (2007). Variation in oral sensation: implications for diet and health. *Current Opinion in Gastroenterology*, 23, 171–177.
- Duffy, V.B., Bartoshuk, L.M., Lucchina, L.A., Snyder, D.J. and Tym, A. (1996). Supertasters of PROP (6-n-propylthiouracil) rate the highest creaminess to high-fat milk products. *Chemical senses*, 1996(21), 598.
- Engelen, L., van den Keybus, P. A. M., Wijk, R. A. de, Veerman, E. C. I., Amerongen, A. V. N., Bosman, F., Prinz J. F., & van der Bilt A. (2007). The effect of saliva composition on texture perception of semi-solids. *Archives of oral biology*, 52(6), 518–525.
- Engelen, L., & van der Bilt, A. (2008). Oral Physiology And Texture Perception Of Semisolids. *J. Texture Studies*, 39, 83–113.

- Engelen, L., Wijk, R. A. de, Prinz, J. F., van der Bilt, A., & Bosman, F. (2003). The relation between saliva flow after different stimulations and the perception of flavor and texture attributes in custard desserts. *Physiology & Behavior*, 78(1), 165–169.
- Essick, G. K., Chopra, A., Guest, S., & McGlone, F. (2003). Lingual tactile acuity, taste perception, and the density and diameter of fungiform papillae in female subjects. *Physiology & behavior*, 80(2-3), 289–302.
- Gaillard, D., Laugerette, F., Darcel, N., El-Yassimi, A., Passilly-Degrace, P., Hichami, A., Khan, N. A., Montmayeur, J.-P., & Besnard, P. (2008). The gustatory pathway is involved in CD36-mediated orosensory perception of long-chain fatty acids in the mouse. *The FASEB journal*, 22(5), 1458–1468.
- Galindo, M. M., Voigt, N., Stein, J., van Lengerich, J., Raguse, J.-D., Hofmann, T., Meyerhof, W., & Behrens, M. (2012). G Protein-Coupled Receptors in Human Fat Taste Perception. *Chemical Senses*, 37(2), 123-139.
- Goldstein, G. L., Daun, H., & Tepper, B. J. (2007). Influence of PROP taster status and maternal variables on energy intake and body weight of pre-adolescents. *Physiology & Behavior*, 90(5), 809–817.
- Goris, A. H. C., Westerterp-Plantenga, M. S., & Westerterp, K. R. (2000). Undereating and underrecording of habitual food intake in obese men: selective underreporting of fat intake. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(1), 130–134.
- Guinard, J.-X., Zoumas-Morse, C., & Walchak, C. (1997). Relation Between Parotid Saliva Flow and Composition and the Perception of Gustatory and Trigeminal Stimuli in Foods. *Physiology & Behavior*, 63(1), 109–118.
- Hayes, J. E., Bartoshuk, L. M., Kidd, J. R., & Duffy, V. B. (2008). Supertasting and PROP Bitterness Depends on More Than the TAS2R38 Gene. *Chemical Senses*, 33(3), 255–265.
- Hayes, J. E., & Duffy, V. B. (2007). Revisiting sugar-fat mixtures: sweetness and creaminess vary with phenotypic markers of oral sensation. *Chemical senses*, 32(3), 225–236.
- Hayes, J. E., & Duffy, V. B. (2008). Oral sensory phenotype identifies level of sugar and fat required for maximal liking. *Physiology & behavior*, 95(1-2), 77–87.
- Hayes, J. E., Sullivan, B. S., & Duffy, V. B. (2010). Explaining variability in sodium intake through oral sensory phenotype, salt sensation and liking. *Physiology & behavior*, 100(4), 369–380.

- ISO (International Organization for Standardization). (2012a). 8586: Sensory analysis - General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO (International Organization for Standardization). (2012b). 11132: Sensory analysis - methodology - guidelines for monitoring the performance of a quantitative sensory panel. Geneva: International Organization for Standardization.
- Kamphuis, M. M. J. W., & Westerterp-Plantenga, M. S. (2003). PROP sensitivity affects macronutrient selection. *Physiology & behavior*, 79(2), 167–172.
- Keding, G. B., & Jordan Irmgard. (2008). Adipositas: Ein Publik-Health-Problem in Tansania. *Ernaehrung im Fokus*, 8(10), 372–377.
- Keller, K. L., Liang, L. C. H., Sakimura, J., May, D., van Belle, C., Breen, C., Driggin, E., Tepper, B. J., Lanzano, P. C., Deng, L., & Chung, W. K. (2012). Common Variants in the CD36 Gene Are Associated With Oral Fat Perception, Fat Preferences, and Obesity in African Americans. *Obesity*, 20(5), 1066–1073.
- Keller, K. L., Steinmann, L., Nurse, R. J., & Tepper, B. J. (2002). Genetic taste sensitivity to 6-n-propylthiouracil influences food preference and reported intake in preschool children. *Appetite*, 38(1), 3–12.
- Köster, E. P. (2009). Diversity in the determinants of food choice: A psychological perspective. *European Conference on Sensory Science of Food and Beverages 2006*, 20(2), 70–82.
- Kulkarni, B., & Mattes, R. (2013). Evidence for Presence of Nonesterified Fatty Acids as Potential Gustatory Signaling Molecules in Humans. *Chemical Senses*, 38(2), 119–127.
- Laugerette, F., Passilly-Degrace, P., Patris, B., Niot, I., Febbraio, M., Montmayeur, J.-P., & Besnard, P. (2005). CD36 involvement in orosensory detection of dietary lipids, spontaneous fat preference, and digestive secretions. *The Journal of clinical investigation*, 115(11), 3177–3184.
- Lim, J., Urban, L., & Green, B. G. (2008). Measures of individual differences in taste and creaminess perception. *Chemical senses*, 33(6), 493–501.
- Macmillan, N. A., & Creelman C. Douglas. (2005). *Detection theory: A user's guide* (second edition). New York: Cambridge University Press.
- Mattes, R. D. (2007). Effects of linoleic acid on sweet, sour, salty, and bitter taste thresholds and intensity ratings of adults. *American journal of physiology. Gastrointestinal and liver physiology*, 292(5), G1243-8.

- Mattes, R. D. (2009a). Is there a fatty acid taste? *Annual review of nutrition*, 29, 305–327.
- Mattes, R. D. (2009b). Oral detection of short-, medium-, and long-chain free fatty acids in humans. *Chemical senses*, 34(2), 145–150.
- Nachtsheim, R., Ludi, R., & Schlich, E. (2012). Relationship between product specific and unspecific screening tests and future performance of descriptive panellists. *Poster on the 5th European Conference on Sensory and Consumer Research, Bern (CH), 09.-12. September 2012*,
- Nachtsheim, R., Ludi, R., & Schlich, E. (2012). Optimierung von Unterschiedstests in der Lebensmittelindustrie. *DLG-Lebensmittel*, (04), 12–14.
- Nachtsheim, R., Ludi, R., & Schlich, E. (2014). Entwicklung eines beschleunigten Lagertests zur Simulation von Fehlparomen in Margarine. *DLG-Lebensmittel*, Voraussichtlich Vol.1 (2014).
- Nachtsheim, R., & Schlich, E. (2011). Die sensorische Wahrnehmung von Fett und deren Einfluss auf den Fettverzehr. *Ernährungs Umschau*, (10), 430–435.
- Nachtsheim, R., & Schlich, E. (2013). The influence of 6-n-propylthiouracil bitterness, fungiform papilla count and saliva flow on the perception of pressure and fat. *Food Quality and Preference*, 29(2), 137–145.
- Nachtsheim, R., & Schlich, E. (2014). The influence of oral phenotypic markers and fat perception on fat intake during a breakfast buffet and in a 4-day food record. *Food Quality and Preference*, 32 (Part C): 173-183
- Neyraud, E., Palicki, O., Schwartz, C., Nicklaus, S., & Feron, G. (2012). Variability of human saliva composition: Possible relationships with fat perception and liking. *Archives of Oral Biology*, 57(5), 556–566.
- Pivk, U., Godinot, N., Keller, C., Antille, N., Juillerat, M.-A., & Raspor, P. (2008). Lipid deposition on the tongue after oral processing of medium-chain triglycerides and impact on the perception of mouthfeel. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(3), 1058–1064.
- Rolls, E. T. (2012). Mechanisms for Sensing Fat in Food in the Mouth *Journal of Food Science*, 77(3), S140.
- Simons, P. J., Kummer, J. A., Luiken, J. J. F. P., & Boon, L. (2011). Apical CD36 immunolocalization in human and porcine taste buds from circumvallate and foliate papillae. *Acta Histochemica*, 113(8), 839–843.

- Stewart, J. E., Feinle-Bisset, C., Golding, M., Delahunty, C., Clifton, P. M., & Keast, R. S. J. (2010). Oral sensitivity to fatty acids, food consumption and BMI in human subjects. *The British journal of nutrition*, 104(1), 145–152.
- Tepper, B. J. (2008). Nutritional implications of genetic taste variation: the role of PROP sensitivity and other taste phenotypes. *Annual review of nutrition*, 28, 367–388.
- Tepper, B. J., Neilland, M., Ullrich, N. V., Koelliker, Y., & Belzer, L. M. (2011). Greater energy intake from a buffet meal in lean, young women is associated with the 6-n-propylthiouracil (PROP) non-taster phenotype. *Appetite*, 56(1), 104–110.
- Tepper, B. J., & Nurse, R. J. (1997). Fat perception is related to PROP taster status. *Physiology & behavior*, 61(6), 949–954.
- Tepper, B. J., Shaffer, S. E., & Shearer, C. M. (1994). Sensory perception of fat in common foods using two scaling methods. *Food Quality and Preference*, 5(4), 245–251.
- Weenen, H., Jellema, R. H., & Wijk, R. A. de. (2005). Sensory sub-attributes of creamy mouthfeel in commercial mayonnaises, custard desserts and sauces. *Food Quality and Preference*, 16(2), 163–170.
- Welch, H. G., Schwartz, L. M., & Woloshin, S. (2005). The exaggerated relations between diet, body weight and mortality: the case for a categorical data approach. *Canadian Medical Association Journal*, 172(7), 891–895.
- Wendin, K., Aaby, K., Edris, A., Ellekjaer, M. R., Albin, R., Bergenståhl, B., Johansson, L., Willers, E. P., & Solheim, R. (1997). Low-fat mayonnaise: influences of fat content, aroma compounds and thickeners. *Food Hydrocolloids*, 11(1), 87–99.
- Whitehead, M. C., Beeman, C. S., & Kinsella, B. A. (1985). Distribution of taste and general sensory nerve endings in fungiform papillae of the hamster. *American Journal of Anatomy*, 173(3), 185–201.
- Whitehead, M. C., & Kachele, D. L. (1994). Development of fungiform papillae, taste buds, and their innervation in the hamster. *The Journal of Comparative Neurology*, 340(4), 515–530.
- Wijk, R. A. de, & Prinz, J. F. (2007). Fatty versus creamy sensations for custard desserts, white sauces, and mayonnaises. *Food Quality and Preference*, 18(4), 641–650.
- Yackinous, C. A., & Guinard, J.-X. (2002). Relation between PROP (6-n-propylthiouracil) taster status, taste anatomy and dietary intake measures for young men and women. *Appetite*, 38(3), 201–209.

- Yackinous, C., & Guinard, J. X. (2001). Relation between PROP taster status and fat perception, touch, and olfaction. *Physiology & behavior*, 72(3), 427–437.
- Yeomans, M. R., Tepper, B. J., Rietzschel, J., & Prescott, J. (2007). Human hedonic responses to sweetness: role of taste genetics and anatomy. *Physiology & behavior*, 91(2-3), 264–273.

Anhang

Inhaltsverzeichnis

1 Erste Veröffentlichung	I
2 Zweite Veröffentlichung	XVI
3 Dritte Veröffentlichung	XLV
4 Mittelwerte	LXXV
5 Formeln	LXXV

1 Erste Veröffentlichung

Titel: Die sensorische Wahrnehmung von Fett und deren Einfluss auf den Fettverzehr

Ernährungsumschau 2011 (58) 530-535

Eingegangen: 23.10.2010

Akzeptiert: 25.01.2011

DOI: 10.4455/eu.2011.956

Autoren: René Nachtsheim MSc¹, Prof. Dr.-Ing. Elmar Schlich¹

Korrespondenzadresse:

Professur für Prozesstechnik in Lebensmittel- und Dienstleistungsbetrieben

René Nachtsheim MSc

Stephanstr. 24

35390 Gießen

<http://www.uni-giessen.de/fbr09/pt/>

E-Mail: rene.nachtsheim@ernaehrung.uni-giessen.de

¹ Professur für Prozesstechnik in Lebensmittel- und Dienstleistungsbetrieben

Kurzfassung

Als Hauptwahrnehmungsweg von Fett gilt zurzeit das somatosensorische System. Fett löst durch seine schmierenden Eigenschaften, sein spezielles Fließverhalten und seine geringe Wärmeleitfähigkeit ein besonderes Mundgefühl aus. Zusätzlich wird der Geruchseindruck von Lebensmitteln durch Fett über verschiedene Mechanismen positiv beeinflusst. Eine Wahrnehmung über den Geschmackssinn scheint ebenfalls möglich. Menschen sind in der Lage, geringe Konzentrationen an Fettsäuren zu erkennen. Fettsäurerezeptoren konnten bisher allerdings nur in Geschmackszellen von Nagetieren nachgewiesen werden. Physiologische Unterschiede im Wahrnehmungssystem wie die Anzahl der Pilzpapillen auf der Zunge oder die Bitterempfindlichkeit gegenüber 6-n-Propylthiouracil (PROP) beeinflussen die Wahrnehmung von Fett. Menschen, die PROP sehr intensiv wahrnehmen und eine hohe Anzahl an Pilzpapillen besitzen, nehmen Unterschiede im Fettgehalt besser wahr. Ob dies Auswirkungen auf den individuellen Fettverzehr hat, ist allerdings immer noch unklar. Weitere Untersuchungen mit geeigneten Methoden sind notwendig, um den Wahrnehmungsmechanismus von Fett und dessen Auswirkung auf das Ernährungsverhalten aufzuklären.

Abstract

Fat intake is determined by several indicators. One possible indicator could be the oral fat perception. Fat is probably perceived by the somatosensory system via its lubricating properties, viscosity and thermal conductivity. In addition fat has a positive influence on food flavor. Accumulating evidence suggest that the sense of taste is also involved in fat perception.

Genetic variations in oral perception, like the amount of fungiform papillae or perceived bitterness of 6-n-Propylthiouracil (PROP), may influence the perception of fat. PROP-Taster with high amount of fungiform papillae had better abilities to discriminate between low and high fat foods. The impact on fat intake still remains unclear. Further researches with uniform classification of PROP-Status and measurement of direct fat intake are necessary.

Key-Words: Fat, fat perception, PROP-status, diet, food intake

Vorspann

Fettreiche Lebensmittel sind in vielen Kulturen sehr beliebt. Während die Auswirkungen des Konsums fetthaltiger Lebensmittel auf die Gesundheit intensiv erforscht werden, wird der Ursache weniger Aufmerksamkeit geschenkt. Insbesondere der sensorische Wahrnehmungsmechanismus von Fett sollte mehr beachtet werden, da dieser wahrscheinlich einen wesentlichen Einfluss auf den Fettverzehr hat.

Einleitung

Das sensorische Wahrnehmungssystem des Menschen hat unter anderem die Aufgabe, energie- sowie nährstoffreiche Lebensmittel zu identifizieren. So kann beispielsweise der Geschmackssinn durch den sensorischen Eindruck Süß ein kohlenhydratreiches Lebensmittel erkennen [1]. Fett ist ebenfalls ein Energielieferant und außerdem Träger von Vitaminen und essentiellen Fettsäuren. Ein Wahrnehmungssystem für diesen Nährstoff wäre deshalb durchaus sinnvoll, um eine ausreichende Versorgung mit Energie und Nährstoffen zu gewährleisten. Bis heute ist allerdings unklar, wie der Mensch diesen Energieträger erkennt und fettreiche von fettarmen Lebensmitteln unterscheidet [2]. Dass der Mensch die Fähigkeit dazu besitzt, zeigen sensorische sowie epidemiologische Untersuchungen. In sensorischen Tests können die meisten Menschen das Lebensmittel mit höherem Fettgehalt identifizieren [3, 4]. Des Weiteren entwickelt der Mensch bei einem bestimmten Lebensmittelangebot eine Präferenz für fettreiche Lebensmittel. Sind in Entwicklungsländern fettreiche Lebensmittel erhältlich und finanziell erschwinglich, so werden diese gegenüber traditioneller, kohlenhydratreicher Kost bevorzugt [5]. Damit eine Präferenz für ein Lebensmittel entstehen kann, ist allerdings ein sensorisches Wahrnehmungssystem notwendig. Lebensmittelpräferenzen entstehen, indem sensorische Eigenschaften mit postprandialen Sättigungssignalen und dem Belohnungszentrum im Gehirn über neuronale Mechanismen verknüpft werden [6, 7]. Für den Energieträger Zucker ist diese Präferenz angeboren, während sie für Fett wahrscheinlich erst im Laufe des Lebens entsteht [8].

Als Wahrnehmungsmechanismen für Fett kommen prinzipiell der Geschmacks- und Geruchssinn sowie das **somatosensorische System** in Frage. Wie Fett über diese Wahrnehmungssysteme erkannt wird, soll im Folgenden erläutert werden. Dabei werden ebenfalls mögliche physiologische Ursachen für eine schlechtere Fettwahrnehmung sowie dessen Auswirkung auf den Fettverzehr betrachtet.

Wahrnehmungsmechanismen von Fett

Wird der Fettgehalt eines Lebensmittels verändert, hat dies in der Regel einen Einfluss auf dessen **Geschmack**, **Geruch** und **Textur**. Einen einzelnen Wahrnehmungsmechanismus zu identifizieren, ist deshalb problematisch [9]. Erschwerend kommt hinzu, dass die sensorischen Eigenschaften von Fett oft lebensmittelspezifisch sind. In flüssigen und halbfesten Lebensmitteln wie Milch, Yoghurt oder Pudding beeinflusst der Fettgehalt vor allem Textureigenschaften wie Fließfähigkeit oder Kremigkeit, während bei Fleisch- oder Wurstwaren Fett einen größeren Einfluss auf das Aroma hat [10, 11]. Weitere sensorische Eigenschaften, die mit Fett in Verbindung gebracht werden, sind die Feuchtigkeit bei Kuchen, die Saftigkeit bei Fleischwaren sowie spezielle Aromakomponenten bei Butter und Margarine [8, 10, 12].

Die sensorischen Eigenschaften, die Fett in Lebensmitteln hervorrufen kann, sind somit sehr vielseitig. Um verstehen zu können, wie der Mensch fettreiche von fettarmen Lebensmitteln unterscheidet, ist es deshalb notwendig, alle theoretisch möglichen Wahrnehmungsmechanismen zu kennen.

Gibt es einen Fettezeptor auf der Zunge?

Die Existenz eines Geschmacksrezeptors für Fett ist in den letzten Jahren umfangreich diskutiert worden [13, 14, 15]. Als Geschmacksstoff dienen hierbei die im Fett enthaltenen Fettsäuren, die bereits im Mund durch das Enzym Lipase freigesetzt werden. In Tierversuchen konnten bereits mehrere Rezeptoren in Geschmackszellen nachgewiesen werden, die auf Fettsäuren reagieren. Hierzu zählen der Fettsäuretransporter CD 36, fettsäurespezifische Kaliumkanäle sowie die G-protein-gekoppelten Rezeptoren GPR40, GPR41, GPR43 und GPR120. Diese Rezeptoren reagieren spezifisch auf bestimmte Fettsäuren. Beispielsweise werden GPR 41 und 43 vorwiegend durch kurzkettige Fettsäuren aktiviert, während CD36, GPR40 und GPR 120 auf mittel- und langkettige Fettsäuren reagieren [16, 17]. Die Beteiligung der Rezeptoren CD 36, GPR40 und GPR 120 an der Fettwahrnehmung konnte durch Untersuchungen an sogenannten Knock-Out Mäusen, in dessen Geschmackszellen bestimmte Rezeptoren genetisch ausgeschaltet wurden, nachgewiesen werden. Ratten ohne die Rezeptoren CD 36, GPR40 oder GPR 120 nehmen Fett schlechter wahr und entwickeln keine bzw. verlieren ihre Präferenz für eine fettreiche Emulsion [17, 18]. Im Gegensatz dazu zeigen das Ausschalten des Geruchssinns sowie die Maskierung der Textureigenschaften

lediglich einen geringen Einfluss auf die Fettwahrnehmung und Präferenz [19, 20]. Dies beweist, dass Ratten Fett vorwiegend über den Geschmackssinn wahrnehmen [13].

Die Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf den Menschen ist jedoch fraglich. Auf der menschlichen Zunge ist bisher weder die Existenz eines Fettsäurerezeptors in Geschmackszellen noch eine Reizbarkeit der Geschmackszellen durch Fettsäuren nachgewiesen [21]. Weiterhin besitzt die Zungenlipase des Menschen im Vergleich zu Ratten nur eine geringe Aktivität, wodurch die Wahrnehmung über einen Fettsäurerezeptor erschwert wird [15, 22]. Die Konzentration an freien Fettsäuren in bestimmten Lebensmitteln könnte allerdings ausreichen, um wahrgenommen zu werden. Beispielsweise liegt die Konzentration an freien Fettsäuren in Milchprodukten (3-6 mg/g Fett) über der Wahrnehmungsschwelle von Fettsäuren [16, 23]. Die Existenz einer Wahrnehmungsschwelle für Fettsäuren weisen mehrere sensorische Studien nach. Dies stellt den bislang stärksten Beweis für die Wahrnehmung von Fettsäuren über den Geschmackssinn beim Menschen dar [16, 24]. In einer aktuellen Studie können die Probanden sogar niedrige Konzentrationen der Fettsäuren Linol- (1,5 mM), Öl- (2,2 mM) und Laurinsäure (2,7 mM) in Emulsionen erkennen, obwohl Geruchsreize sowie visuelle Unterschiede vollständig maskiert sind [25]. Da die Texturreize allerdings nur teilweise maskiert wurden, kann eine Beteiligung des somatosensorischen Systems nicht ausgeschlossen werden.

Aktuelle Studien geben demnach Hinweise, dass Fettsäuren ebenfalls beim Menschen über den Geschmackssinn wahrgenommen werden können. Die Zusammensetzung der Fettsäuren könnte somit nicht nur von ernährungsphysiologischer, sondern auch von sensorischer Bedeutung für die Entwicklung von fettreduzierten Lebensmitteln und Diäten sein.

Hat Fett einen Geruch?

Fett kommt in Lebensmitteln hauptsächlich in Form von geruchsneutralen Triglyceriden vor. Der wahrnehmbare Geruch entsteht durch im Fett gelöste Aromastoffe. Das Aroma eines Fetts ist deshalb abhängig von dessen Ursprung und somit lebensmittelspezifisch [15]. Zusätzlich beeinflusst Fett die Freisetzung von Aromen. Werden im Mund Aromastoffe schnell in großen Mengen freigesetzt, ist der wahrgenommene Geruchseindruck geringer als bei der Freisetzung kleinerer Mengen über einen längeren Zeitraum. Fett verstärkt den **retronasalen Geruchseindruck**, indem es lipophile Aromen bindet und ihre Freisetzung verlangsamt. Insgesamt führt ein hoher Fettgehalt eines Lebensmittels zu einem intensiveren und volleren Aroma [11, 26]. Umgekehrt hat das Aroma eines Lebensmittels ebenfalls einen

Einfluss auf den wahrgenommenen Fettgehalt eines Lebensmittels. Insbesondere Milch-, Butter- und Sahnearomen können die Wahrnehmung des Fettgehalts bestimmter Lebensmittel erhöhen. So führt der Zusatz von Butteraromen in Kartoffelbrei zu einer höheren Bewertung des Fettgehaltes [27]. Ein eindeutiger Rückschluss vom Aroma eines Lebensmittels auf den Fettgehalt ist allerdings nicht immer möglich. Wird der Geruchssinn durch Nasenklammern ausgeschaltet, sind Menschen immer noch in der Lage, Unterschiede im Fettgehalt wahrzunehmen [3]. Lediglich bei geruchsblinden Ratten konnte ein Verlust der Wahrnehmungsfähigkeit von geringen Konzentrationen an Maiskeimöl und Ölsäure in Emulsionen beobachtet werden. Da diese Wahrnehmungsunterschiede nicht durch gelöste Aromastoffe erklärt werden können, scheint der Geruchssinn zumindest bei Ratten bei der Erkennung geringerer Konzentrationen an der Fettwahrnehmung direkt beteiligt zu sein [19, 20].

Beim Menschen erfolgt die Fettwahrnehmung wahrscheinlich indirekt über die Veränderung des Aromas eines Lebensmittels sowie durch die Verknüpfung mit postprandialen Sättigungssignalen. Prinzipiell können Unterschiede im Fettgehalt auch ohne Geruchssinn wahrgenommen werden.

Vermitteln fettreiche Lebensmittel ein spezielles Mundgefühl?

Neben dem Geschmacks- und Geruchssinn kommt das somatosensorische System im Mund als dritter Wahrnehmungsmechanismus von Fett in Frage. Eine Reihe von fettbedingten sensorischen Eigenschaften kann nur über dieses System wahrgenommen werden [9]. Dazu gehören das Fließverhalten (Viskosität) und die Feinheit, welche im Wesentlichen die Kremigkeit eines Produktes bestimmen [11]. Feste Lebensmittel besitzen diese Eigenschaften nicht, was erklären könnte, warum Fett in diesen Lebensmitteln schlecht wahrgenommen wird [3]. Beispielsweise können Unterschiede im Fettgehalt von Milch besser erkannt werden als in Rührei oder einem Müsliriegel [4]. Fett löst vor allem in flüssigen (Milch, Sahne) und halbfesten (Pudding, Yoghurt, Mayonnaise) Lebensmitteln durch seine schmierenden Eigenschaften, seine Viskosität und seine geringe Wärmeleitfähigkeit ein spezielles Mundgefühl aus, welches nur über die Rezeptoren des somatosensorischen Systems wahrgenommen werden kann [11, 28, 29].

Durch Druckrezeptoren wird die entstehende Reibung zwischen Lebensmittel und Gaumen bzw. Zunge wahrgenommen [30]. Fett bildet einen Film auf Zunge und Gaumen und reduziert so aufgrund seiner schmierenden Eigenschaften die hier entstehende Reibung. Fettreiche

Lebensmittel werden deshalb als “glatt“ oder “fein“ empfunden, während fettarme eher als “rau“ beschrieben werden. Die wahrgenommene Reibung, die zum sensorischen Eindruck der Rauheit oder Feinheit führt, ist demnach eine wichtige Textureigenschaft, durch die Fett in Lebensmitteln wahrgenommen wird [31, 32].

Eine weitere Textureigenschaft, über die Fett erkannt wird, ist die Viskosität eines Lebensmittels, die hauptsächlich über Bewegungsrezeptoren auf der Zunge und im Mundraum wahrgenommen wird [30, 33]. Dies weisen vorliegende sensorische Untersuchungen nach. In **Profilprüfungen** werden fettreiche Lebensmittel im Vergleich zu fettarmen oft als dickflüssiger beschrieben [11]. Neurophysiologische Untersuchungen bestätigen diese Ergebnisse. Hirnareale, die für die Wahrnehmung der Viskosität zuständig sind, reagieren ebenfalls beim Verzehr eines fettreichen halbfesten oder flüssigen Lebensmittels [29].

Neuere Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass ebenfalls Temperaturrezeptoren eine Rolle bei der Fettwahrnehmung spielen könnten. Fett verändert die wahrgenommene Temperatur eines Lebensmittels, weshalb fettreiche Lebensmittel bei gleicher Temperatur als wärmer empfunden werden als fettarme. Ursache ist die geringe Wärmeleitfähigkeit von Fett, welche dazu führt, dass die Wärme im Mund langsamer auf das Lebensmittel übertragen wird. Fett wirkt deshalb wie ein Isolator und verhindert das Abkühlen des Mundraums beim Verzehr einer kälteren Speise [28, 34].

Das somatosensorische System hat somit eine bedeutende Rolle in der sensorischen Wahrnehmung von Fett in halbfesten und flüssigen Lebensmitteln. Es nimmt die Reibung, Viskosität und Temperatur eines Lebensmittels wahr, die durch den Fettgehalt bestimmt oder beeinflusst werden.

Unterschiede in der sensorischen Wahrnehmung von Fett

Fett verändert eine Vielzahl sensorischer Eigenschaften, anhand derer fettreiche von fettarmen Lebensmitteln unterschieden werden können. Die Fähigkeit, Unterschiede im Fettgehalt von Lebensmitteln zu erkennen, ist allerdings individuell verschieden. Dies wurde in mehreren sensorischen Untersuchungen nachgewiesen [3, 25, 35, 36]. Beispielsweise besitzen ältere Menschen eine höhere Wahrnehmungsschwelle für Fett in Öl in Wasser Emulsionen (15,8 %) als jüngere (5,3 %) [15]. Des Weiteren legen manche Studien nahe, dass Menschen, welche die bitterschmeckende Substanz 6-n-Propylthiouracil (PROP) schlecht oder gar nicht wahrnehmen (so genannte „Nontaster“), die Kremigkeit von

Milchprodukten mit hohem Fettgehalt (36 %) sehr gering bewerten und Unterschiede im Fettgehalt von Salatdressings (10% und 40 %) schlecht wahrnehmen. Menschen, die den Bittergeschmack von PROP sehr intensiv wahrnehmen (sogenannte „Supertaster“), können Unterschiede im Fettgehalt besser erkennen [35, 37]. Im Gegensatz dazu wiesen Yackinous et. al. 2001 keinen Zusammenhang zwischen PROP-Status und Fettwahrnehmung nach. Die Unterschiede im Fettgehalt waren allerdings im Vergleich zu vorangegangenen Studien geringer (4-25%). Es wird vermutet, dass der PROP-Status nur einen Einfluss auf die Wahrnehmung großer Fettgehaltsunterschiede hat [3].

Als Ursache für die schlechte Fettwahrnehmung durch ältere Menschen und Nontaster wird unter anderem eine verringerte Anzahl der Pilzpapillen auf der Zunge vermutet (Abb. 1) [35, 37]. Pilzpapillen beinhalten Rezeptoren des somatosensorischen Systems und sind von druckempfindlichen trigeminalen Nervenenden umgeben. Sie können deshalb als anatomische funktionelle Einheit der somatosensorischen Wahrnehmung angesehen werden [37, 38]. Da Fett zum Teil über die Rezeptoren des somatosensorischen Systems erkannt wird, kann eine erniedrigte Pilzpapillenzahl dazu führen, dass Unterschiede im Fettgehalt von Lebensmitteln schlechter wahrgenommen werden. Nontaster besitzen eine geringere Anzahl an Pilzpapillen als Supertaster (Abb. 1), wodurch deren schlechtere Wahrnehmung von Fett erklärt werden könnte [3].

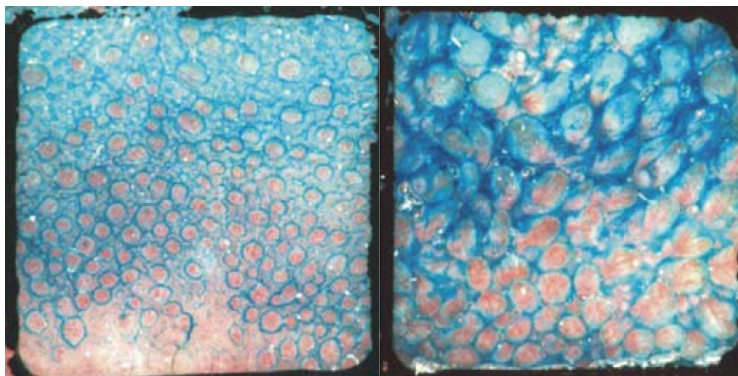


Abb.1: Mit blauer Lebensmittelfarbe gefärbte Zunge eines Supertaster (links, 179 Pilzpapillen/cm²) und Nontaster (rechts, 72 Pilzpapillen/cm²) [(Essick et al. 2003): 295]

Die Fähigkeit, Fett in Lebensmitteln wahrzunehmen, scheint somit durch physiologische Faktoren im Mund beeinflusst zu werden. Ein eindeutiger Zusammenhang kann bisher allerdings nicht nachgewiesen werden. Hierzu sind weitere Untersuchungen notwendig, die mehrere Einflussfaktoren auf die somatosensorische Wahrnehmung, wie die

Zungenbeweglichkeit, die Mundtemperatur sowie der Speichelfluss und seine Zusammensetzung einbeziehen.

Einfluss der Fettwahrnehmung auf den Fettverzehr

Inwiefern sich die sensorische Wahrnehmung von Fett auf die Höhe des Fettverzehrs auswirkt, ist bisher nur in wenigen Studien untersucht worden. Der Großteil der Studien hat sich mit dem Einfluss des PROP-Status auf den Fettverzehr beschäftigt. Der PROP-Status wird in diesen Studien als Indikator für eine gute oder schlechte Wahrnehmung verwendet [39, 40, 41]. Bis Heute kann allerdings kein eindeutiger Einfluss auf den Fettverzehr nachgewiesen werden. Während einige Studien einen höheren Fettverzehr von PROP-Supertastern nachweisen [40], zeigen andere, dass PROP-Nontaster mehr Fett verzehren [41], oder können keinen Zusammenhang finden [39]. Ein möglicher Grund für diese gegensätzlichen Ergebnisse könnten die verwendeten Food Frequency Fragebögen sein. Gerade der Verzehr von fettreichen Lebensmitteln wird in dieser Methode oft unterbewertet. Kamphuis, Westerterp-Plantenga 2003 haben den Fettverzehr in ihrer Studie direkt erhoben und weisen nach, dass Supertaster während eines Frühstückbuffets mehr Fett verzehren als Nontaster [42]. Es muss außerdem beachtet werden, dass der PROP-Status nur indirekt über seine Korrelation mit der Anzahl der Pilzpapillen die Wahrnehmung von Fett und somit dessen Verzehr beeinflusst. Die Anzahl der Pilzpapillen sowie die direkte Messung der Fettwahrnehmung sind deshalb besser geeignet, um Unterschiede im Fettverzehr zu erklären.

Zu Letzterem liegt eine aktuelle Studie von Stewart 2010 vor. Hier wurden die Teilnehmer anhand ihrer Fähigkeit, eine Emulsion mit der Fettsäure Ölsäure zu erkennen, in hypersensitive (gute Wahrnehmung) und hyposensitive (schlechte Wahrnehmung) Probanden eingeteilt. Die hyposensitiven Probanden konnten Unterschiede im Fettgehalt von Puddings schlechter erkennen, hatten gleichzeitig einen höheren Fettverzehr sowie einen höheren BMI [25].

Die sensorische Wahrnehmung von Fett und Fettsäuren scheint demnach einen Einfluss auf den Fettverzehr zu haben. Um diesen Zusammenhang zu verifizieren und die möglichen physiologischen Ursachen zu finden, sind weitere Studien dieser Art notwendig.

Schlussfolgerung

Angesichts der steigenden Problematik eines zu hohen Fettverzehrs sollten die Wahrnehmung von Fett sowie deren Auswirkung auf den Verzehr weiter untersucht werden. Bisher existieren nur wenige Studien, die den Zusammenhang zwischen Wahrnehmung und Verzehr von Fett untersuchen. Ein besseres Verständnis dieses Zusammenhangs könnte die Entwicklung von fettreduzierten Lebensmitteln verbessern, individuell angepasste Empfehlungen für die Reduktion des Fettverzehrs ermöglichen und somit die Compliance von Diäten verbessern. Ob die Wahrnehmungsunterschiede durch den Geschmackssinn, Geruchssinn oder das somatosensorische System hervorgerufen werden, sollte ebenfalls weiter untersucht werden.

Infobox:

Der **PROP-Status** beschreibt die Geschmacksempfindlichkeit gegenüber 6-n-Propylthiouracil (PROP). PROP ist ein bitter schmeckender Arzneistoff, der normalerweise zur Behandlung von Schilddrüsenerkrankungen verwendet wird. Anhand der Wahrnehmungsfähigkeit gegenüber PROP können Menschen in **Nontaster**, **Taster** und **Supertaster** eingeteilt werden, wobei PROP von Nontastern als schwach und von Supertastern als stark bitter empfunden wird. Die unterschiedliche Wahrnehmungsfähigkeit von Nontastern und Tastern kann durch verschiedene Varianten des Bitterrezeptors hTAS2R38 erklärt werden. Supertaster hingegen unterscheiden sich von Nontastern und Tastern durch eine erhöhte Pilzpapillenzahl, weshalb vermutet wird, dass diese Personen auch andere Geschmacksstoffe sowie taktile Reize besser wahrnehmen [43].

Glossar [44]:

Geruchseindruck: Über den Geruchssinn wahrnehmbare Merkmalseigenschaften

Retronasaler Geruchseindruck: Über die rückwärtige Mund-Nasen-Verbindung olfaktorisch wahrnehmbare Merkmalseigenschaften des Mundinhalts

Geschmack: Über Geschmackszellen wahrnehmbare sensorische Eigenschaften. (Grundgeschmacksarten Süß, Sauer, Bitter, Salzig und Umami)

Mundgefühl: Summe haptischer (taktiler und kinästhetischer), thermischer und nozizeptiver Eindrücke im Mundraum

Profilprüfung: Beschreibung der Intensität der Merkmalseigenschaften einer Prüfprobe

Reizschwelle: Absolut niedrigster Wert einer sensorischen Schwelle, der (in 50 % der Reizdarbietungen) zu einer Empfindung (ohne Erkennung) führt

Schwelle: Niedrigster Wert einer Reizintensität, die (in 50% der Darreichungen) gerade noch eine biologische Reizantwort hervorruft

Somatosensorisches Wahrnehmung: Über spezifische Sensoren in der Haut, den Schleimhäuten und in tieferen Bindegewebsschichten vermittelte Empfindungen, die die drei Sinnesmodalitäten „Tastsinn“ (mit taktilen und kinästhetischen Empfindungen), „Temperatursinn“ und „Schmerz“ erfassen

Textur: Summe visueller (Struktur und Gefüge betreffend), auditiver und haptischer Eindrücke

Literaturverzeichnis

1. Chandrashekar J, Hoon MA, Ryba NJP, Zuker CS. (2006) The receptors and cells for mammalian taste. *Nature*. 7117: 288–294.
2. Garcia-Bailo B, Toguri C, Eny KM, El-Sohemy A. (2009) Genetic Variation in Taste and Its Influence on Food Selection. *Journal of Integrative Biology*. 1: 69–80.
3. Yackinous C, Guinard JX. (2001) Relation between PROP taster status and fat perception, touch, and olfaction. *Physiology & behavior*. 3: 427–437.
4. Tepper BJ, Shaffer SE, Shearer CM. (1994) Sensory perception of fat in common foods using two scaling methods. *Food Quality and Preference*. 4: 245–251.
5. Keding GB, Jordan I. (2008) Adipositas: Ein Publik-Health-Problem in Tansania. *Ernaehrung im Fokus*. 10: 372–377.

6. Sclafani A. (2001) Psychobiology of food preferences. *International journal of obesity and related metabolic disorders. Journal of the International Association for the Study of Obesity*. 5: 13-6.
7. Sclafani A. (2004) Oral and postoral determinants of food reward. *Physiology & behavior*. 5: 773–779.
8. Drewnowski A. (1997) Why do we like fat?. *Journal of the American Dietetic Association*. 7: 58-62.
9. Mattes RD. (2005) Fat taste and lipid metabolism in humans. *Physiology & behavior*. 5: 691–697.
10. Dransfield E. (2008) The taste of fat. *Meat Science*. 1: 37–42.
11. Wijk RA de, van Gemert LJ, Terpstra MEJ, Wilkinson CL. (2003) Texture of semi-solids; sensory and instrumental measurements on vanilla custard desserts. *Food Quality and Preference*. 4: 305–317.
12. Krause AJ, Lopetcharat K, Drake MA. (2007) Identification of the characteristics that drive consumer liking of butter. *Journal of dairy science*. 5: 2091–2102.
13. Gaillard D, Laugere F, Darcel N, El-Yassimi A, Passilly-Degrace P, Hichami A, Khan NA, Montmayeur J, Besnard P. (2008) The gustatory pathway is involved in CD36-mediated orosensory perception of long-chain fatty acids in the mouse. *The FASEB journal*. 5: 1458–1468.
14. Kawai T, Fushiki T. (2003) Importance of lipolysis in oral cavity for orosensory detection of fat. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*. 2: 447-454.
15. Schiffman S, Graham B, Sattley-Miller E, Warwick Z. (1998) Orosensory Perception of Dietary Fat. *Current Directions in Psychological Science*. 5: 137–143.
16. Mattes RD. (2009) Oral detection of short-, medium-, and long-chain free fatty acids in humans. *Chemical senses*. 2: 145–150.
17. Cartoni C, Yasumatsu K, Ohkuri T, Shigemura N, Yoshida R, Godinot N, Le Coutre J, Ninomiya Y, Damak S. (2010) Taste preference for fatty acids is mediated by GPR40 and GPR120. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*. 25: 8376–8382.

18. Laugerette F, Passilly-Degrace P, Patris B, Niot I, Febbraio M, Montmayeur J, Besnard P. (2005) CD36 involvement in orosensory detection of dietary lipids, spontaneous fat preference, and digestive secretions. *The Journal of clinical investigation*. 11: 3177–3184.
19. Takeda M, Sawano S, Imaizumi M, Fushiki T. (2001) Preference for corn oil in olfactory-blocked mice in the conditioned place preference test and the two-bottle choice test. *Life Sciences*. 7: 847–854.
20. Fukuwatari T, Shibata K, Iguchi K, Saeki T, Iwata A, Tani K, Sugimoto E, Fushiki T. (2003) Role of gustation in the recognition of oleate and triolein in anosmic rats. *Physiology & behavior*. 4-5: 579–583.
21. Laugerette F, Gaillard D, Passilly-Degrace P, Niot I, Besnard P. (2007) Do we taste fat? *Biochimie*. 2: 265–269.
22. Spielman AI, D'Abundo S, Field RB, Schmale H. (1993) Protein Analysis of Human von Ebner Saliva and a Method for its Collection from the Foliate Papillae. *Journal of Dental Research*. 9: 1331–1335.
23. Nasser JA, Kissileff HR, Boozer CN, Chou CJ, Pi-Sunyer FX. (2001) PROP taster status and oral fatty acid perception. *Eating behaviors*. 3: 237–245.
24. Chalé-Rush A, Burgess JR, Mattes RD. (2007) Multiple routes of chemosensitivity to free fatty acids in humans. *American journal of physiology. Gastrointestinal and liver physiology*. 5: 1206-1212.
25. Stewart JE, Feinle-Bisset C, Golding M, Delahunty C, Clifton PM, Keast RSJ. (2010) Oral sensitivity to fatty acids, food consumption and BMI in human subjects. *The British journal of nutrition*. 1: 145–152.
26. Brauss MS, Balders B, Linforth RS, Avison S, Taylor AJ. (1999) Fat content, baking time, hydration and temperature affect flavour release from biscuits in model-mouth and real systems. *Flavour and Fragrance Journal*. 6: 351–357.
27. Yackinous CA, Guinard J. (2000) Flavor Manipulation Can Enhance the Impression of Fat in Some Foods. *Journal of Food Science*. 5: 909–914.
28. Prinz JF, Wijk RA de, Huntjens LAH, Engelen L, Polet IA. (2007) Is fat perception a thermal effect? *Perceptual and motor skills*. 2: 381–386.

29. Araujo IE, de Rolls ET. (2004) Representation in the human brain of food texture and oral fat. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*. 12: 3086–3093.
30. Engelen L, van den Keybus PAM, Wijk RA de, Veerman ECI, Amerongen AVN, Bosman F, Prinz JF, van der Bilt A. (2007) The effect of saliva composition on texture perception of semi-solids. *Archives of oral biology*. 6: 518–525.
31. Wijk RA de, Terpstra MEJ, Janssen AM, Prinz JF. (2006) Perceived creaminess of semi-solid foods. *Trends in Food Science & Technology*. 8: 412–422.
32. Wijk RA de, Prinz JF. (2005) The role of friction in perceived oral texture. *Food Quality and Preference*. 2: 121–129.
33. Szczesniak AS. (2002) Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*. 4: 215–225.
34. Engelen L, Wijk RA de, Prinz JF, Janssen AM, Weenen H, Bosman F. (2003) The effect of oral and product temperature on the perception of flavor and texture attributes of semi-solids. *Appetite*. 3: 273–281.
35. Tepper BJ, Nurse RJ. (1997) Fat perception is related to PROP taster status. *Physiology & behavior*. 6: 949–954.
36. Tepper BJ, Kuang T. (1996) Perception of fat in a milk model system using multidimensional scaling. *Journal of Sensory Studies*. 3: 175–190.
37. Hayes JE, Duffy VB. (2007) Revisiting sugar-fat mixtures: sweetness and creaminess vary with phenotypic markers of oral sensation. *Chemical senses*. 3: 225–236.
38. Prescott J, Soo J, Campbell H, Roberts C. (2004) Responses of PROP taster groups to variations in sensory qualities within foods and beverages. *Physiology & behavior*. 2-3: 459–469.
39. Drewnowski A, Henderson SA, Cockroft JE. (2007) Genetic sensitivity to 6-n-propylthiouracil has no influence on dietary patterns, body mass indexes, or plasma lipid profiles of women. *Journal of the American Dietetic Association*. 8: 1340–1348.
40. Yackinous CA, Guinard J. (2002) Relation between PROP (6-n-propylthiouracil) taster status, taste anatomy and dietary intake measures for young men and women. *Appetite*. 3: 201–209.

41. Keller KL, Steinmann L, Nurse RJ, Tepper BJ. (2002) Genetic taste sensitivity to 6-n-propylthiouracil influences food preference and reported intake in preschool children. *Appetite*. 1: 3–12.
42. Kamphuis MM, Westerterp-Plantenga MS. (2003) PROP sensitivity affects macronutrient selection. *Physiology & behavior*. 2: 167–172.
43. Tepper BJ. (2008) Nutritional implications of genetic taste variation: the role of PROP sensitivity and other taste phenotypes. *Annual review of nutrition*: 367–388.
44. DIN 10950-1:1999. Sensorische Prüfung Teil 1: Begriffe. Beuth Verlag, Berlin (1999).

2 Zweite Veröffentlichung

Title: The influence of 6-n-propylthiouracil bitterness, fungiform papilla count and saliva flow on the perception of pressure and fat

Food Quality and Preference 2013 (29) 137-145

Received 11 October 2012

Received in revised form 18 March 2013

Accepted 18 March 2013

Available online 5 April 2013, DOI: 10.1016/j.foodqual.2013.03.011.

Authors: René Nachtsheim^a, Elmar Schlich^a

^a Department of Process Engineering in Food and Servicing Business, Stephanstr. 24, 35390 Giessen, Germany

Corresponding author: René Nachtsheim, Department of Process Engineering in Food and Servicing Business, Stephanstr. 24, 35390 Giessen, Germany, Tel.: +496419939354, Fax: +496419939359,

Email: rene.nachtsheim@ernaehrung.uni-giessen.de.

NOTICE: this is the author's version of a work that was accepted for publication in Food Quality and Preference. Changes resulting from the publishing process, such as peer review, editing, corrections, structural formatting, and other quality control mechanisms may not be reflected in this document. Changes may have been made to this work since it was submitted for publication. A definitive version was subsequently published in Food Quality and Preference, [Vol. 29, p. 137-145, available online 5 April 2013] DOI: 10.1016/j.foodqual.2013.03.011.

Abstract

It has been suggested that variations in oral physiology influence the ability to perceive fat. The aim of this study was to investigate how fungiform papilla count on the tongue tip, 6-n-propylthiouracil (PROP) bitterness, saliva flow and increase in salivary flow via oil stimulation influence the perception of fat. In addition, we examined the relationship between PROP bitterness and fungiform papilla count with respect to the perception of pressure. A total of 116 subjects participated in the physiological and pressure perception tests and 108 subjects participated in the fat perception tests. The subjects rated the pressure intensities of Von Frey filaments applied to the tongue tip and the fat content of different milk and cream mixtures and a high-fat emulsion. A-Not-A tests were conducted to measure the perception of the threshold fat contents and pressure intensities. The results show that the fungiform papilla count and saliva flow increase had a significant effect on the supra-threshold fat content intensity ratings. The supra-threshold pressure intensity ratings were only influenced by PROP bitterness. These results support the hypothesis that fungiform papilla play an important role in fat perception

Keywords: Fat perception; Pressure perception; 6-n-Propylthiouracil; Fungiform papilla; Saliva flow; R-Index

1 Introduction

The intake of high-fat foods has been identified as a dietary factor that can increase the total energy intake (Donahoo et al., 2007) and thus can increase the risk of obesity and associated diseases (Bray, Paeratakul, & Popkin, 2004). Therefore, the factors that influence fat intake are of broad interest. Recent studies have shown that the ability to discriminate among foods with different fat content is negatively correlated with fat intake (Stewart et al., 2010; Keller et al., 2012). Consequently, the physiological factors affecting fat perception may also influence fat intake.

How humans perceive fat is still under investigation. The sense of taste and the somatosensory system in the oral cavity are considered to be the main pathways involved in fat perception (Mattes, 2009a). Fatty acids are suggested to be the sensory cue for fat perception through the sense of taste. Several studies have shown that humans are able to detect low concentrations of fatty acids (Nasser, Kissileff, Boozer, Chou, & Pi-Sunyer, 2001; Mattes, 2007; Mattes, 2009b). In addition, several transduction mechanisms for fatty acids have been identified in the taste buds of humans and rats. In rat taste buds, the fatty acid receptors CD36, GPR40, GPR41, GPR43, GPR120 and a delayed-rectifying potassium channel were identified. Rats without CD36, GPR40 or GPR120 receptors showed a decreased perception of and preference for fat (Laugerette et al., 2005; Gaillard et al., 2008; Cartoni et al., 2010). CD36 was identified in the taste buds of human circumvallate and foliate papilla (Simons, Kummer, Luiken, & Boon, 2011), and GPR120 was identified in the taste buds of human circumvallate and fungiform papilla (FP) (Galindo et al., 2012). Changes in the human CD36 gene appear to influence the perception of fat in salad dressings and the preference for added fats, indicating a possible role of CD36 in human fat perception (Keller et al., 2012). However, the ability of fatty acids to conduct a taste signal has not yet been proven (Galindo et al., 2012). Hence, no exact description exists for the taste of fat (Galindo et al., 2012), and because textural cues cannot be fully masked, textural attributes are still regarded as the main sensory cues to identify fat in foods in the form of triglycerides (Rolls, 2012). Sensory studies show that textural characteristics can be used to quantify the fat content in liquid and semisolid food. Textural attributes that are associated with fat content are smoothness, viscosity, lubricity and creaminess; creaminess is an integration of the former attributes (Wendin et al., 1997; Weenen, Jellema, & de Wijk, 2005; de Wijk & Prinz, 2007; Theophilou & Wilbey, 2007; Brennan & Tudorica, 2008). Neurophysiological studies showed that viscosity-related neurons react to fat. Somatosensory neurons that respond to fat

independently of the viscosity were also identified (Rolls, 2011). Textural attributes are mainly detected via the mechanoreceptors of the somatosensory system of the tongue and palate (Engelen & van der Bilt, 2008). On the tongue, these receptors are located in trigeminal neurons that surround taste buds in the FP and terminate in the apex of the FP (Whitehead, Beeman, & Kinsella, 1985; Whitehead & Kachele, 1994). Taken together, the studies presented above suggest that fat is perceived through the textural properties of triglycerides and may be perceived through additional chemosensory cues provided by fatty acids.

Both sensory systems, the sense of taste and the somatosensory system, have a common anatomical unit: the fungiform papilla. Taste buds in the FP contain fatty acid receptors (Galindo et al., 2012) and mechanoreceptors (Whitehead et al., 1985). Thus, a higher amount of FP may increase the perception of fat through enhanced tactile and chemosensory perception. Currently, there is little information on the effect of the FP count on the tongue on fat perception. Only Hayes and Duffy (2007) investigated the relationship between the FP count on the tongue tip and the perception of the fat-related attribute creaminess. Subjects with a higher FP count gave higher creaminess ratings to milk-cream mixtures. Additionally, subjects with higher intensity ratings towards the bitter-tasting substance 6-n-propylthiouracil (PROP) gave higher creaminess ratings (Hayes & Duffy, 2007). The bitter perception of PROP is the most commonly investigated phenotypic marker used to explain the variation in fat perception. Most studies classify their subjects according to their perceived intensity of PROP as supertasters (pST), who perceive PROP to be extremely bitter; medium tasters (pMT), who perceive PROP to be moderately bitter; and nontasters (pNT), who perceive PROP to be slightly bitter (Tepper & Nurse, 1997; Yackinous & Guinard, 2001; Lim, Urban, & Green, 2008). The results of the previous studies that investigated the effect of PROP bitterness on fat perception are conflicting. Duffy (1996) found that the pST group gave higher ratings of creaminess to milk products with fat content ranging from 11.5 % to 54.0 % compared with the pMT and pNT groups. Tepper and Nurse (1997) showed that the pST and pMT groups, but not the pNT group, were able to discriminate between salad dressings with fat contents of 10 % and 40 % (Tepper & Nurse, 1997). A postulated mechanism for the enhanced fat perception of the pST group is their higher FP count compared with the pMT and pNT groups (Yackinous & Guinard, 2001). However, several studies did not find a relationship between PROP status and fattiness or creaminess ratings (Yackinous & Guinard, 2001; Drewnowski, Henderson, & Barratt-Fornell, 1998; Lim et al., 2008). Some speculated reasons for the discrepancy among these results are differences in the procedures for determining PROP status, the use of different ranges of fat content (Yackinous & Guinard,

2001), the use of different scaling methods (Yackinous & Guinard, 2001; Bartoshuk, Duffy, Hayes, Moskowitz, & Snyder, 2006) and different FP counts between the taster groups in each study (Essick, Chopra, Guest, & McGlone, 2003).

Saliva flow is another physiological factor that can influence the texture perception of foods (Engelen & van der Bilt, 2008). Saliva is composed of 99 % water and therefore dilutes food during mastication, which may influence the perception of fat-related texture attributes (Engelen, de Wijk, Prinz, van der Bilt, & Bosman, 2003; Neyraud, Palicki, Schwartz, Nicklaus, & Feron, 2012). Through stimulation, SF can be increased over several times. Saliva can be stimulated by taste and mechanical input as well as by the sight and smell of food (Froehlich, Pangborn, & Whitaker, 1987; Mackie & Pangborn, 1990; Engelen et al., 2003). No information is available regarding whether pure fat or oil is able to stimulate SF and if an increased amount of saliva influences fat perception.

It has also been suggested that the composition of saliva influences fat perception. Salivary proteins such as mucins may decrease fat perception due to their lubricating properties (Engelen et al., 2007), and the activity of the salivary enzymes lipase and lysozyme have been reported to increase fat perception (Neyraud et al., 2012).

Until now, no study has investigated the influence of all of the described physiological factors on fat perception in a larger cohort. The aim of this research is to further investigate the relationship between variations in oral physiology and the sensory perception of fat. PROP bitterness, FP count, SF and saliva flow increase (SFI) through oil stimulation were chosen as the physiological factors and were all included in a statistical model to account for their variation. As mouthfeel sensations have an important role in fat perception, the influences of PROP bitterness and the FP count on the perception of pressure were also examined. Thus, the hypotheses tested in the present study were that (1) PROP bitterness influences fat perception, (2) the FP count influences fat perception, (3) SF influences fat perception and (4) the physiological factors that are associated with the perception of pressure also influence fat perception. For hypothesis (3), three sub-hypotheses were defined: (3.1) unstimulated SF influences fat perception, (3.2) stimulation with oil increases SF and (3.3) the absolute amount of SFI influences fat perception.

To test if the physiological factors affect only specific ranges of the fat content, supra-threshold and threshold differences in fat content were evaluated. R-Indices were calculated from the A-Not-A tests using samples with confusable fat contents to test the threshold perception. The advantage of the R-Index is that it is free of response bias and takes the

subject's variability into account. Therefore, it is a better measure of discrimination ability than traditional difference tests based on chance probability and a binomial distribution (Robinson, Klein, & Lee, 2004; Lee & van Hout, 2009).

Most studies that investigated the effect of oral physiology on sensory perception used different measurement levels of their physiological variables in their statistical models. The physiological parameters were treated as either continuous or discrete variables. If the variables are classified, the statistical power can decrease, and the risk of a Type II error is increased (Streiner, 2002). Hayes and Duffy (2007) suggested the same effect for the classification of individuals in pNT, pMT and pST. To compare our results to previous studies and to test if classification has an influence on the significance of the results, we report the results as both continuous and discrete variables. This approach was also suggested by Welch, Schwartz, and Woloshin (2005).

2 Materials and methods

2.1 Subjects and study procedure

121 Subjects were recruited into a larger observational study to test the relationship between oral physiology, fat perception and food selection. The subjects were recruited via flyers posted at the University of Giessen and mailings. The selection criteria were between the ages of 19-39 years, healthy, not pregnant, not lactating and free from deficits in taste or smell. The subjects' health status (food allergies and medicine use) was assessed via questionnaires. The subjects gave written consent and were paid for their participation. A total of 116 subjects (84 female, 32 male) participated in the physiological and pressure perception tests. The mean age was 23.7 (range of 19-39 years), the mean weight was 67.3 kg (range of 44.0-100.0 kg), and the mean Body Mass Index was 22.6 kg/m² (range of 14.9-35.1 kg/m²). A total of 108 subjects (80 female, 28 male) completed the physiological and fat perception tests. The mean age of this group was 23.6 (range of 19-39 years), the mean weight was 66.8 kg (range of 44.0-100.0 kg), and the mean Body Mass Index was 22.5 kg/m² (range of 14.9-35.1 kg/m²).

The experiment consisted of five sessions. In the first session (30 min), the sensory and physiological tests were explained (N=121). In the second session (45 minutes), the pressure perception, PROP bitterness and FP count on the tongue tip were measured (N=116). In

sessions four, five and six (60 minutes each), unstimulated and stimulated SF were determined prior to the sensory fat perception tests (N=108). Sessions three, four and five were held at one-week intervals. Except for seven subjects, all subjects participated in each session at the same time. The study was approved by the Ethical Committee of the University of Giessen.

2.2 Stimuli

The pressure perception of the tongue was measured using von Frey filaments (Marstock, Schriesheim, Germany). A von Frey filament is a glass fiber that is attached perpendicularly to a handle. The subjects were instructed to close their eyes and extend their tongue. The von Frey filament was applied vertically on the right side of the tongue tip with enough pressure to cause bending of the fiber for approximately 1 second.

Milk samples with fat contents of 1.50 % and 3.50 % (Euco GmbH, Hamburg, Germany) and cream samples with fat contents of 30.00 % (Penny Markt GmbH, Cologne, Germany) were purchased at the local supermarket. Equal amounts of milk with 3.50 % fat and cream were mixed to produce a milk-cream mixture with 16.75 % fat. The milk and cream samples were stored at room temperature (20 ± 2 °C) and served in 40 ml plastic cups. High-fat emulsions were produced by Walter Rau Lebensmittelwerke GmbH (Hilter, Germany) using a margarine pilot plant from Gerstenberg & Schröder (Lübeck, Germany). The process parameters and formulations are provided in Table 1. The emulsions were stored at 4 °C and brought to room temperature prior to tasting (20 ± 2 °C).

2.3 Sensory evaluation of the pressure perception

The threshold pressure perception was measured with an A-Not-A test with a constant reminder. Six sample forces, which were either A or Not-A, were applied randomly on the tongue tip, and the subjects had to decide if the pressure of the von Frey filament was equal to A or not (Not-A). In addition, each subject had to rate his or her sureness on a scale. Possible responses were: more sure, sure, unsure and more unsure. In all of the A-Not-A tests, we used 1.0 mN as the A sample, which was applied before each unknown sample force. Overall, five A-Not-A tests were conducted, with a 30-second break between each test. The first test was used to accustom the subjects to the procedure and was not used for further evaluation. As the

Not-A sample, two of the A-Not-A tests were conducted using 1.2 mN and two were conducted using 1.4 mN. The A and Not-A samples occurred equal times in random order. The order of the A-Not-A tests was also randomized. To evaluate the A-Not-A tests, the R-Indices were calculated according to Macmillan and Creelman (2005), using the data pooled from the repetitions.

After a 2-minute break, the subjects had to rate the pressure intensity of six different Von Frey filaments (1.0 mN, 8.0 mN, 16.0 mN, 32.0 mN, 64.0 mN and 128.0 mN) that were applied in random order on a 100 mm pressure intensity scale. This procedure was duplicated.

Table 1 The formulation [%] and process parameters of the high-fat emulsions

Fat content	70.00	90.00
Fat phase		
Rapeseed oil	67.53	86.97
Fractionated palm fat	1.97	2.53
Monoglycerides	0.50	0.50
Water phase		
Water	29.86	9.86
Citric acid	0.03	0.03
Potassium sorbate	0.10	0.10
Ethylenediaminetetraacetic acid	0.007	0.007
Process Parameters		
Preparation vessel [°C]	64.0	
Throughput quantity [kg/h]	75.0	
Pressure [bar]	2.0	
Pasteurizer [°C]	>79.0	
Tube chiller [°C]	45.0	
Scrape surface heat exchanger A1-3 [°C]	25,15,10	
Scrape surface heat exchanger A1-3 [min ⁻¹]	750	
Pin mixer [min ⁻¹]	270	

2.4 PROP status determination

The PROP status of each subject was determined using a modified classification method from Bartoshuk, Duffy, and Miller (1994). The classification of the subjects by taster status was determined by rating the intensity of five 20 ml solutions of PROP (Schuchardt, Hohenbrunn, Germany) and NaCl (Dr. Paul Lohmann GmbH KG, Emmerthal, Germany) on a 100 mm Labeled Magnitude Scale (LMS) (Green et al., 1996). The solutions were presented in order of increasing concentration. The concentrations of the PROP solutions were 0.032 mM (PROP₁), 0.176 mM (PROP₂), 0.32 mM (PROP₃), 1.76 mM (PROP₄) and 3.2 mM (PROP₅), and the concentrations of the NaCl solutions were 0.01 M (NaCl₁), 0.05 M (NaCl₂), 0.1 M (NaCl₃), 0.5 M (NaCl₄), and 1.0 M (NaCl₅). The PROP and NaCl were dissolved in demineralized water. The solutions were served at room temperature and stored for a maximum of 2 days. The salt solutions were tasted before the PROP solutions. The subjects rinsed 2 times with demineralized water before each tasting. The psychophysical functions of both tastants were calculated and compared for each subject. The subjects who perceived the NaCl solutions as much stronger than the PROP solutions were classified as pNT. Those who perceived approximately the same intensity for PROP and NaCl were classified as pMT. Those who perceived the PROP solutions as much stronger than the NaCl solutions were classified as pST. In addition, the PROP ratio was calculated as described by Drewnowski, Henderson, and Shore (1997). The classification of the subjects as pNT, pMT or pST was validated with one-way mixed design analysis of variance (ANOVA) conducted separately for pNT, pMT and pST, with concentrations as the within-subject factor and the type of taste stimulus as the between-subject factor. The mean PROP ratios of each taster group were compared with a one-way independent ANOVA. The bitterness of the 3.2 mM PROP solution was used to report the results as a continuous variable. In the results of our study, 'PROP bitterness' refers to the bitterness of the 3.2 mM PROP solution.

2.5 Fungiform papilla count

To measure the FP count, the subjects had to extend their tongues and hold it steady. The tongue was dried with filter paper, stained with a blue food colorant (Brilliant Blue, Dr. Ehrenstorfer GmbH, Augsburg, Germany) and then dried again. A circle of filter paper (6 mm diameter, Carl Roth GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Germany) was placed on the right side of the tongue and was used as a template. Several pictures were taken using a 15.1-megapixel

digital camera (Canon EOS 500) in macro mode. The pictures were analyzed using the FotoFiltre 6.3.1 software. Three circles were drawn in the front of the anterior tongue using the filter paper as a template (area of 28.3 mm², see Figure 1). The FP were counted inside the marked circles. Only FP that were at least 50 % inside the circle were counted. The FP were counted independently by two researchers. There was no significant difference between the counts of the researchers, and therefore the mean of the two counts was calculated. The FP counts of the different areas had significant correlation (all $r > 0.59$, all $p < 0.001$), and therefore only one area was used for further analysis to avoid bias through correlated factors. Area one was used for further analysis because a preliminary analysis showed significant correlations with the samples with perceived fat content of 16.75 % ($r = 0.188$; $p < 0.05$) and 30.00 % ($r = 0.180$; $p < 0.05$). In the results of our study, 'FP count' refers to the FP count of area 1.

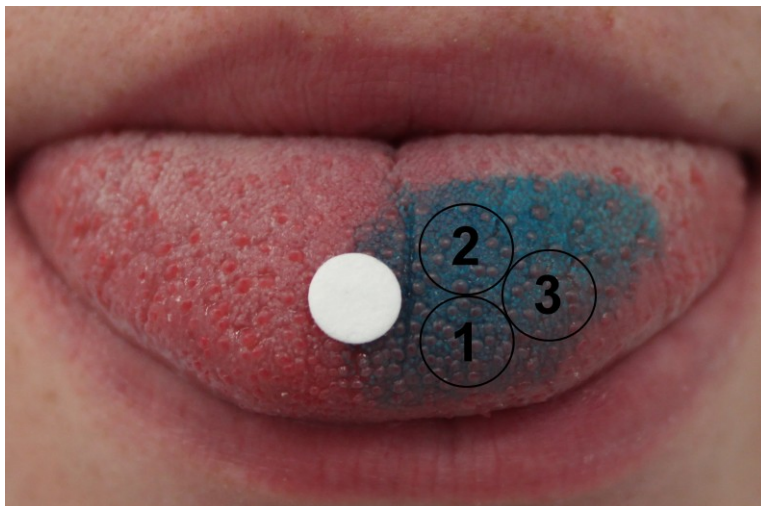


Fig. 1. An example image taken to count the fungiform papilla (FP) shows the placement of the template (6 mm diameter) and the three counted areas. Only area 1 was used for further analysis.

2.6 Saliva flow

At the beginning of sessions four, five and six, the unstimulated and stimulated SF was measured using the spitting method as described by Dawes (1987). The subjects bent their heads forward, and after an initial swallow, the subjects had to spit out every 60 seconds into a pre-weighed container for five minutes. The containers were collected and immediately weighed to determine the unstimulated SF. After a 2-minute break, the subjects received 20 ml of refined rapeseed oil (Euco GmbH, Hamburg, Germany) as a stimulus. The subjects had to rinse their mouth with the stimulus for 5 seconds and spit it out in a trash cup. The saliva

was again collected for five minutes to determine the stimulated SF. The unstimulated and stimulated SF rates (g/min) and the SFI (g/min) were calculated. The SFI was calculated by subtracting the unstimulated SF from the stimulated SF. The stimulated SF was found to correlate with the unstimulated ($r=0.905$; $p<0.05$) and the SFI ($r=0.441$; $p<0.05$). To avoid bias through correlated factors, the stimulated SF was not used for further analysis.

2.7 Sensory evaluation of the fat perception

After SF measurements and a three-minute break, the subjects performed three sensory tests. Before each test, the subjects rinsed their mouths with demineralized water. The sensory fat perception tests included an A-Not-A test with milk samples (1.50 % vs. 3.50 % fat), intensity ratings of samples with supra-threshold differences in fat content (3.50 %, 16.75 %, 30.00 %, 70.00 % fat) and an A-Not-A test with high-fat emulsions (70.00 % vs. 90.00 % fat). The tests were conducted in the above order in a sensory test room. The subjects were introduced to the procedure of each test prior to tasting. The tests were conducted under red light to minimize differences in color and reflectance, and the subjects had to wear nose clips to decrease retronasal olfaction during tasting. The sip and spit technique was used in all of the sensory tests.

To test the threshold perception of fat, A-Not-A tests with constant reminder were conducted. In the first A-Not-A test, we used milk with a 1.50 % fat content as A and milk with 3.50 % fat as the Not-A sample. In the second A-Not-A test, we used a 70 % high-fat emulsion as A and a 90 % high-fat emulsion as the Not-A sample. The subjects received the A sample (40 ml) and six unknown samples (20 ml) of either A or Not-A that were coded with 3-digit codes. The subjects were instructed to taste the A sample before each unknown sample. The order of the unknown samples was randomized, and each A and Not-A sample occurred three times. After tasting each sample, the subjects had to decide if the test sample had the same fat content as A or not (Not-A). In addition, the subjects had to indicate how sure their decisions were. The possible responses were given in section 2.3. The samples were tasted from left to right, and retasting was not allowed. Overall, each subject made six comparisons and sureness ratings in one repetition.

To test the supra-threshold perception, an intensity rating procedure was conducted with milk (3.50 % fat), a milk-cream mixture (16.75 % fat), cream (30.00 % fat) and a high-fat emulsion (70.00 % fat). The subjects rated the fat content, the creaminess and the sweetness

on a 100 mm visual intensity scale anchored on the ends with “extremely low” and “extremely high”. The sweetness was evaluated to prevent the different sugar contents of the samples from affecting the fat content ratings. The order of samples was randomized.

The order of the tests was not randomized because fatigue and adaption effects were expected after the A-Not-A test with the high-fat emulsions. To evaluate the A-Not-A tests, the R-Indices were calculated according to Macmillan & Creelman (2005) using the data from all of the repetitions.

2.8 Data Analysis

SPSS 19.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago, Illinois) was used for statistical analysis, and 0.05 was selected as the level of significance for all of the statistical tests. To test whether the physiological variables were related, Pearson’s correlation coefficient was calculated.

The effect of repetition, fat content, force or oil stimulus on the intensity ratings and the SF was examined prior to calculating the arithmetic mean using a two-way repeated measure ANOVA with repetition and fat content or force or oil stimulus as the within-subject variable. The analyses were performed separately for the fat content, pressure intensity and SF. Significantly different repetitions were excluded from the calculation of the arithmetic mean. As a result, only the second and third repetitions were used for the calculation of the arithmetic means for the creaminess ratings, fat content ratings, sweetness ratings, SF and SFI. For the force intensity ratings, only the second repetition was used for further analysis.

The effect of the physiological factors on the fat content, creaminess and pressure intensity ratings was tested using a one-way mixed analyses of covariance (ANCOVA) with the mean fat content, creaminess or pressure intensity ratings as the within-subject factor and the physiological factors (PROP bitterness, FP count, SF and SFI) as the between-subject factor. SF and SFI were not used as between-subject factors in the ANCOVA analysis for pressure intensity ratings.

The effect of oral physiology on the R-Indices of the fat content comparison and pressure comparison was tested by calculating the one-way independent ANCOVA with the R-Index as the dependent variable and the physiological factors as the independent variables for each comparison. A paired t-test was used to determine if the R-Indices of the perceived fat content and pressure differed from each other. To test if the differences between the fat contents and

Von Frey Filaments were significantly detected by all subjects', the significance table for R-Indices from Bi and O'Mahony (2007) was used.

Additionally, a one-way mixed ANOVA was performed with the same physiological parameters and intensity ratings as in the one-way mixed ANCOVA. To convert the physiological parameters into a discrete variable, a median split was used as the classification method, except for the PROP bitterness (see section 2.4 for the classification method). The subjects with a physiological property less than or equal to the median were classified as "low", and those above the median were classified as "high".

Mauschly's test was conducted prior to every mixed AN(C)OVA to test for sphericity. If Mauschly's test of sphericity rejected the null hypothesis, the Greenhouse-Geisser correction factor was used to adjust the degrees of freedom. Gender, time of sensory tasting and all of the two-way interactions were first included in the model but were never significant and were therefore excluded. For multiple comparisons of the within-subject factors, the LSD test with the Bonferroni adjustment for multiple comparisons was used. To evaluate which condition of the within-subject factor was significantly affected by a between-subject factor, the parameter estimates of the multiple regression model were calculated. A t-test was conducted to determine if the slope of the between-subject factors in the regression model was different from zero. The partial r was calculated as a measure of the effect size for every significant between-subject effect.

3 Results

3.1 The PROP status classification

The subjects were classified as pNT (N=36), pMT (N=57) and pST (N=23). The type of solution was a significant main effect for the pNT group ($F(1;70)=180.45$; $p<0.001$), the pMT group ($F(1;112)=6.97$; $p<0.01$) and the pST group ($F(1;44)=13.12$; $p<0.01$) (Data not shown). The pNT group perceived $\text{NaCl}_{1.5}$ to be significantly stronger than $\text{PROP}_{1.5}$ (all $t>5.53$; all $p<0.001$). The pMT group rated NaCl_3 and NaCl_5 as significantly higher than PROP_3 and PROP_5 (all $t>2.56$; all $p<0.05$). The pST group rated $\text{NaCl}_{1.4}$ to be significantly lower than $\text{PROP}_{1.4}$ (all $t<-3.00$; all $p<0.01$). The PROP ratios differed significantly between taster groups ($F(2;113)=24.52$; $p<0.001$). The mean PROP ratios were 0.31 for the pNT group, 1.21 for the pMT group and 2.48 for the pST group (all $p<0.005$). The pST group had the highest FP count (34) followed by the pNT group (32) and pMT group (31). The difference in FP

count was not significant, when the participants were binned into three groups. In contrast, PROP bitterness was correlated with FP count ($r=0.208$; $p<0.05$).

3.2 The effect of stimuli on the sensory ratings and saliva flow

The fat content was a main effect for the ratings for the perceived fat content ($F(2.17;232.05)=618.12$; $p<0.01$; data not shown) and creaminess ($F(2.33;249.52)=864.38$; $p<0.001$; data not shown). The fat content and creaminess ratings increased significantly as the fat content increased from 3.50 % to 70.00 % (all $p<0.005$). In contrast, the sweetness ratings significantly decreased as the fat content increased from 16.75 % to 70.00 % ($F(2.4;256.83)=146.22$; $p<0.001$). The force of the von Frey filament ($F(4.07;435.97)=497.33$; $p<0.001$; data not shown) was a significant main effect for the ratings of pressure. Multiple comparisons showed that all of the applied tactile stimuli were significantly perceived as different (all $p<0.001$).

3.3 Descriptive analysis of the physiological parameters and their relationship

Table 2 shows the descriptive statistics of the physiological parameters. The FP count and the SFI showed a significant correlation ($r=-0.225$; $p<0.05$). In addition, the bitterness of the 3.2 mM PROP solution correlated with the FP count ($r=0.208$; $p<0.05$).

Table 2 Descriptive statistics of the physiological parameters

	Mean	Std. Deviation	Range	Median	Group	Group N	Group mean
FP	31.86	6.81	12 to 51	31.5	Low	59	26.64
					High	57	37.26
SF (g/min)	0.43	0.21	0.08 to 1.32	0.39	Low	54	0.28
					High	54	0.59
SFI (g/min)	0.06	0.10	-0.28 to 0.42	0.05	Low	54	-0.01
					High	54	0.13
PROP ratio	1.19	1.37	0.05 to 11.88	0.87	PNT	36	0.31
					PMT	57	1.21
					PST	23	2.48

FP=Fungiform papilla; SF=Saliva flow; SFI=Saliva flow increase; PROP=6-n-Propylthiouracil

3.4 The effects of oral physiology on the R-Indices for pressure and fat content comparison

The mean R-Indices were 53.98 % for the comparison of milk with fat contents of 1.50 % and 3.50 % and 63.96 % for the comparison of emulsions with fat contents of 70.00 % and 90.00 %. Both the R-indices were significant ($p < 0.05$) and differed significantly from each other ($p < 0.01$).

For the pressure comparison, the R-Indices were 56.93 % for a difference of 0.2 mN and 58.98 % for a difference of 0.4 mN. Both R-indices were significant ($p < 0.01$) and differed significantly from each other ($p < 0.01$). None of the measured physiological parameters had an effect on the R-Indices of the fat content and pressure comparisons (data not shown).

3.5 The influence of oral physiology on the perceptions of pressure, fat content and creaminess

3.5.1 The influence of the fungiform papilla count on the perceptions of pressure, fat content and creaminess

The FP count (continuous or discrete) did not significantly influence the pressure intensity ratings. In contrast, a significant effect of FP count on the fat content ratings was observed when the FP count was treated as continuous ($F(1;103)=7.56$; $p < 0.05$) or discrete variable ($F(1;102)= 8.71$; $p < 0.01$; see Figure 3a). The average fat content ratings for the 16.75 %, 30.00 % and 70.00 % fat content samples were significantly higher for the HFP group compared with the LFP group (all $t < -2.216$; all $p < 0.05$; all partial $r < 0.228$). Treating FP count as a continuous variable showed a significant effect for the 16.75 % and 30.00 % fat content samples (all $t > 2.335$; all $p < 0.05$; all partial $r < 0.243$). For the creaminess ratings, the FP count (continuous or discrete) was not a significant source of variation (data not shown).

3.5.2 The influence of PROP bitterness on the perceptions of pressure, fat content and creaminess

The PROP status did not significantly predict the pressure intensity ratings, although all applied forces were perceived higher by the pST group than the pNT group (Figure 2b). In contrast, when the PROP bitterness was considered, a significant main effect was observed on the pressure intensity ratings ($F(1;113)=6.06$; $p<0.05$). The pressure intensity of the 64 mN and 128 mN von Frey filaments increased as the PROP bitterness increased (all $t>1.985$; all $p<0.05$; all partial $r<0.230$; see Figure 2b). No significant effect of the PROP status or the PROP bitterness on fat content (Figure 3b) or creaminess ratings was observed (data not shown).

(LFP=Low fungiform papilla; HFP=High fungiform papilla; pNT=PROP nontaster; pMT=PROP medium taster; pST=PROP supertaster)

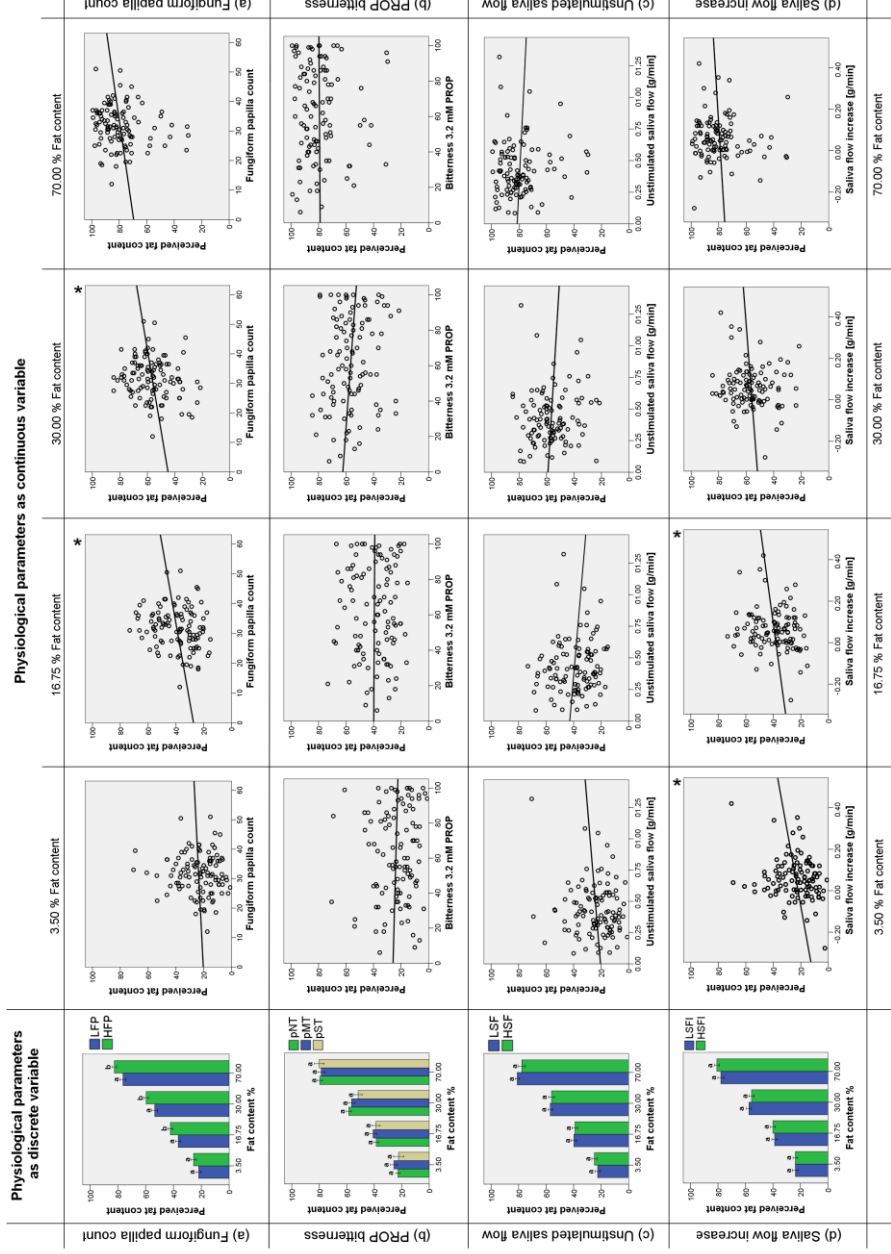


Fig. 3. The mean intensity ratings \pm standard error for the perceived fat content across different fat contents as bar plots and scatter plots showing the bivariate relationship between the perceived fat content and the physiological factors. In the bar plots, different letters indicate significant differences in the perceived fat content ($p < 0.05$). In the scatter plots, a significant effect is marked with *.

(LFP=Low fungiform papilla; HFP=High fungiform papilla; pMT=PROP nontaster; pST=PROP medium taster; pMT=PROP supertaster; LSF=Low saliva flow; HSF=High saliva flow; LSF=Low saliva flow increase; HSF=High saliva flow increase)

3.5.3 The influence of saliva flow and saliva flow increase on the perceptions of fat content and creaminess

There was no significant effect of the unstimulated SF (continuous or discrete) on the fat content ratings (Figure 3c). There was also no significant difference between the HSFI and LSFI groups in the fat content ratings (Figure 3d). To further examine the influence of SFI, subjects who had no increase in SF ($N=26$) were compared with subjects with an SFI greater than zero ($N=82$). Using this classification resulted in a significant main effect of SFI on the fat content ratings ($F(1,102)=9.11$; $p<0.01$). The subjects with a saliva flow increase greater than zero gave significantly higher fat content ratings for the 3.50 %, 16.75 % and 30.00 % samples (all $t > 2.052$; all $p < 0.05$; all partial $r < 0.253$; see Figure 4). When SFI was treated as a continuous variable, it showed a significant main effect on the fat content ratings ($F(1,103)=5.13$; $p < 0.05$). Increasing SFI enhanced the fat content ratings of the 3.50 % and 16.75 % samples (all $t > 2.035$; all $p < 0.05$; all partial $r < 0.217$; see Figure 3d). SFI (discrete or continuous) showed no influence on the creaminess ratings (data not shown).

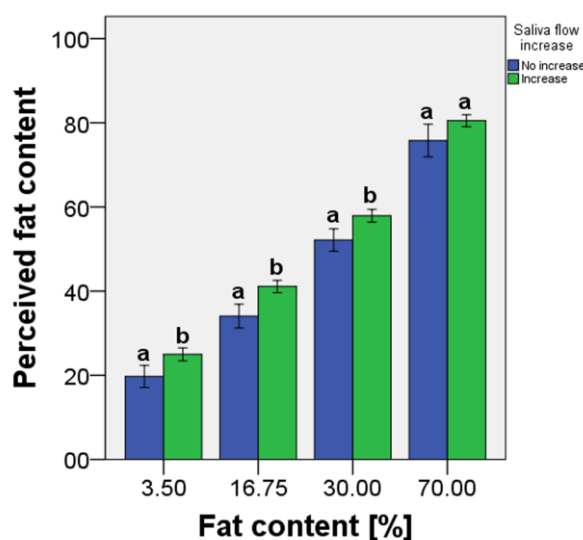


Fig. 4. The mean intensity ratings \pm standard error for the perceived fat content rated on a visual analogue scale for subjects classified after the increase in saliva flow after oil stimulation. For each fat content, different letters indicate significant differences in the perceived intensity ($p < 0.05$).

4 Discussion

As in previous studies (Schiffman, Graham, Sattley-Miller, & Warwick, 1998; Yackinous & Guinard, 2001), we showed that untrained subjects wearing nose clips are able to detect threshold and supra-threshold differences in fat content and that fat perception varies between individuals. The main objective of our study was to investigate if differences in oral physiology can explain the observed variance in fat perception. Contrary to our hypothesis (1), the bitterness of the 3.2 mM PROP solution or PROP status was not a significant source of variation for the supra-threshold and threshold fat perception. The present results do not support earlier evidence that PROP bitterness has an impact on fat perception (Duffy, 1996; Tepper & Nurse, 1997; Hayes & Duffy, 2007). A possible reason for the failure to find a difference between taster groups may have been the small difference in FP count between pNT, pMT and pST. However, although the bitterness of the 3.2 mM PROP solution correlated with the FP count, no effect on the perceived fat content and creaminess ratings was observed. Differences in the methodology of assessing PROP bitterness and fat perception may also explain the different results. For the visual classification of pNT, pMT and pST, we used NaCl as a standard. Numerous studies showed that the intensity of NaCl varies with the PROP taster status (Bartoshuk, Duffy, Lucchina, Prutkin, & Fast, 1998; Yeomans, Tepper, Rietzschel, & Prescott, 2007; Bajec & Pickering 2008; Hayes, Bartoshuk, Kidd, & Duffy 2008; Hayes, Sullivan, & Duffy, 2010). Sensory standards that are independent of taste perception are suggested to reveal larger differences between PROP taster groups (Bartoshuk et al., 2003). Moreover, we used scaling methods to measure PROP bitterness, fat content and creaminess that were not generalized outside an oral context. The intensity descriptors of the LMS and the visual analogue scale (VAS) do probably not denote the same oral intensity in all groups or individuals that were compared with the scale. Therefore, the use of the LMS or the VAS instead of the general LMS, which generalizes the anchors of the LMS from “strongest imaginable oral sensation of any kind” to “strongest imaginable sensation of any kind”, can cause an underestimation or even a reversal of the effect of PROP bitterness on sweet and fat perception (Bartoshuk, Duffy, Hayes, Moskowitz & Snyder, 2006; Yeomans, Tepper, Rietzschel & Prescott, 2007). Indeed, the general LMS has also been criticized (Schifferstein, 2012) but at least some validity for across group comparisons has been established (Bartoshuk et al 2002). Taken together, the use of NaCl as a standard and the use of the LMS and the VAS instead of the general LMS possibly caused an underestimation of the effect of PROP bitterness on perceived fat content and creaminess

ratings, which may have contributed to the non-significant results. Previous studies that did not find an influence of PROP bitterness on fat perception also used scaling and classification methods that might attenuate the effect size of PROP bitterness (Drewnowski et al., 1998; Yackinous & Guinard, 2001; Lim et al., 2008).

Our results are consistent with our hypothesis (2). Subjects with a higher FP count gave higher fat content ratings. Hayes and Duffy (2007) found comparable results. However, they used the attribute of creaminess as a measure of fat perception (Hayes & Duffy, 2007). In contrast, we did not find a relationship between the FP count and creaminess perception. The simultaneous evaluation of fat content and creaminess may have influenced the creaminess ratings. Furthermore, we assume that the semantic use of the label “creaminess” may vary between different populations and languages. The English word “creaminess” is based on the dairy product “cream”, which may lead to an olfactory component in creaminess perception. The German translation “Kremigkeit” is based on the word “Kreme”, which is a generic term for custards, butter cream and whipped cream. Thus, the primary sensory attributes that are used to evaluate creaminess may differ between populations. The above mentioned limitations of the scaling methods we used to assess creaminess probably also explain the contradictory results. The effect of the FP count on the perceived fat content ratings was probably large enough, compared to the individual difference in the usage of the intensity descriptors, to produce significant differences. We assume that the individual difference in the usage of the intensity descriptors “extremely low” and “extremely high” in the ratings of the perceived fat content is smaller compared to the ratings of creaminess. An effect on the R-Indices for the threshold fat content comparison was not observed, indicating that the FP count only affects the supra-threshold perception of fat. However, the mean R-Indices we observed were all smaller than 65 %. The fat content and force differences we used may have been too small to measure differences between subjects. Nevertheless, these results support the evidence that FP count on the tongue tip does play a role in fat perception.

Another objective of our study was to examine the influence of SF on fat perception. Contrary to our hypothesis (3.1), the unstimulated SF had no observed effect on the perception of fat and creaminess. Similarly to other authors, we assume that the subjects are used to their basal salivary flow rate; therefore, individual variability between subjects does not influence fat perception (Guinard, Zoumas-Morse, & Walchak, 1997; Engelen et al., 2003; Neyraud et al., 2012). Moreover, SF is stimulated during mastication. Our data showed a significant increase in SF through the stimulation with rapeseed oil, and subjects with high SFI gave higher fat content ratings, confirming our hypotheses (3.2) and (3.3). The direction

of the relationship between SFI and fat perception is unclear. SFI may be a result of the enhanced fat perception, or SFI may increase fat perception. However, because the SFI was negatively correlated with the FP count, we assume that SFI is not due to the enhanced perception of oil. An explanation for the better fat perception of people with high SFI could be a dilution of the salivary proteins. Engelen et al. (2007) reported that the salivary protein concentration is negatively correlated with the fat-related attribute of creaminess and that this concentration decreases with stimulation.

Furthermore, several methodological issues must be addressed. Overall, we only observed a small SFI. During stimulation, the subjects did not wear nose clips, and therefore odor cues may have led to the SFI. Engelen et al. (2003) reported an SFI through stimulation with a custard flavor of 0.05 ml/min for male subjects, which is approximately the SFI we observed. However, we used a refined rapeseed oil, which had a neutral taste and odor. The oil was tasted prior to each session to test for off flavors. A bias through odor cues is therefore unlikely. The ability of the subjects to clear fat from the tongue and the palate may also have biased the measurement. Dresselhuis, Stuart, van Aken, Schipper, and de Hoog (2008) showed that when tasting 8.6 g of sunflower oil, 0.6 g remained after spitting. The subjects with a low clearance of oil may have retained more oil after spitting, and the retained oil may have been cleared during the spitting phase in the measurement of stimulated SF. The subjects with a low clearance of oil may also have a low clearance for fat in complex food systems, which would enhance their sensation and may explain the influence of SFI on fat perception (Pivk et al., 2008).

To investigate the role of the somatosensory system in fat perception, we measured the pressure perception of our subjects. In contrast to hypothesis (4), the factors that were associated with pressure perception did not influence fat perception. The mouthfeel attributes of fat (lubricity and viscosity) may be not perceived through the mechanoreceptors that are stimulated by the punctual pressure of von Frey filaments on the tongue. In addition, the tactile perception of the palate was not taken into consideration. Texture perception results from a combination of tactile inputs from the tongue and the soft palate (Engelen & van der Bilt, 2008). Another explanation could be that fat is perceived through additional taste cues of fatty acid receptors, which may correlate with the FP count of the tongue. These receptors are not supposed to react to tactile cues and could explain why the FP count influences perceived fat content but not perceived pressure. Only PROP bitterness affected pressure perception, which is in accordance with the results of Yackinous and Guinard (2001). Bakke and Vickers (2008) also found that the perception of the roughness of bread is influenced by PROP

bitterness and not by the FP count. PROP bitterness appears to have an effect on the perception of texture that is independent of the trigeminal innervations of FP.

Regarding our sensory intensity ratings for the fat content, creaminess and pressure, we observed a level effect. The intensity ratings for the first repetition were significantly higher than the intensity ratings for the second and the third repetitions. None of the previous studies conducted repetitions of the fat content ratings. Using a general Labeled Magnitude Scale may have accounted for the level effect but not for individual variation in sensation. Lim et al. (2008) suggested that for taste intensity, ratings on a gLMS, at least 2 intensity ratings were necessary to obtain reliable estimates of individual taste perception. We suggest that the same is true for fat content ratings. Another methodological aspect that differs between previous studies and our present study is the level of measurement of the physiological parameters. We presented our data as both continuous and discrete variables. Our results show that classifying the data as discrete variables missed the significant main effect of the SFI on the fat perception and the significant effect of the PROP bitterness on the pressure perception. These data show that a lack of control of the intra-individual variability in sensation as well as the classification of continuous parameters may be one explanation for the discrepancy in the results compared with earlier studies that investigated the influence of oral physiology on fat perception. Furthermore, we assume that the use of different scaling and classification methods might be another explanation for the failure to find significant results in our and earlier studies.

5 Conclusion

The FP count on the tongue tip and the SFI increase fat perception at several fat content levels. The effect size of these physiological parameters on fat perception is quite small (all partial $r < 0.3$), indicating that there are more factors influencing fat perception. No effect of PROP bitterness on perceived fat content or creaminess was observed, but this may have been caused by the use of scales that were not generalized outside an oral context. We also showed that methodological considerations, such as the use of repetitions and the measurement level of the physiological parameters can influence the results. Therefore, future studies should use standardized statistical and sensory methods and modern scaling methods like general LMS. The physiological parameters that we investigated should be examined in more detail. New methods are necessary to facilitate counting taste buds on a larger cohort in the field.

Furthermore, the concentration of salivary proteins as well as lipase activity should be measured.

Acknowledgments

This manuscript was written in partial fulfillment of the requirements for a doctoral thesis at the Justus Liebig University, Giessen (Germany). The authors thank Anna Diemann, MSc., and Andrea Schollmeyer, MSc., for their support in conducting the study and collecting the data. This study was founded by Walter Rau Lebensmittelwerke GmbH (Hilter, Germany). The authors declare no conflict of interest.

References

- Bajec, M. R., Pickering, G. J. (2008). Thermal taste, PROP responsiveness, and perception of oral sensations. *Physiology & behavior*, 95(4), 581-590.
- Bakke, A., & Vickers, Z. (2008). Relationship between Fungiforme Papillae density, PROP sensitivity and Bread roughness perception. *Journal of Texture Studies*, 39(5), 569–581.
- Bartoshuk, L. M., Duffy, V. B., Fast, K., Green, B. G., Prutkin, J., & Snyder, D. J. (2002). Labeled scales (e.g., category, Likert, VAS) and invalid across-group comparisons: what we have learned from genetic variation in taste. *Food Quality and Preference*, 14(2), 125–138.
- Bartoshuk, L. M., Duffy, V. B., Hayes, J. E., Moskowitz, H. R., & Snyder, D. J. (2006). Psychophysics of sweet and fat perception in obesity: problems, solutions and new perspectives. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 361(1471), 1137–1148.
- Bartoshuk, L. M., Duffy, V. B., Lucchina, L. A., Prutkin, J., & Fast, K. (1998). PROP (6-n-Propylthiouracil) Supertasters and the Saltiness of NaCl. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 855(1), 793–796.
- Bartoshuk, L. M., Duffy, V. B., & Miller, I. J. (1994). PTC/PROP tasting: anatomy, psychophysics, and sex effects. *Physiology & behavior*, 56(6), 1165–1171.
- Bi, J., & O'Mahony, M. (2007). Updated and extended table for testing the significance of the R-Index. *Journal of Sensory Studies*, 22(6), 713–720.

- Bray, G. A., Paeratakul, S., & Popkin, B. M. (2004). Dietary fat and obesity: a review of animal, clinical and epidemiological studies: Dietary Fat and Energy Balance-Myths and Facts. *Physiology & Behavior*, 83(4), 549–555.
- Brennan, C. S., & Tudorica, C. M. (2008). Carbohydrate-based fat replacers in the modification of the rheological, textural and sensory quality of yoghurt: comparative study of the utilisation of barley beta-glucan, guar gum and inulin. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(5), 824–833.
- Cartoni, C., Yasumatsu, K., Ohkuri, T., Shigemura, N., Yoshida, R., Godinot, N., Le Coutre, J., Ninomiya, Y., & Damak, S. (2010). Taste Preference for Fatty Acids Is Mediated by GPR40 and GPR120. *Journal of Neuroscience*, 30(25), 8376–8382.
- Dawes, C. (1987). Physiological factors affecting salivary flow rate, oral sugar clearance, and the sensation of dry mouth in man. *Journal of Dental Research*, 66, 648–653.
- Donahoo, W., Wyatt, H. R., Kriehn, J., Stuht, J., Dong, F., Hosokawa, P., Grunwald, G. K., Johnson, S. L., Peters, J. C. & Hill, J. O. (2007). Dietary Fat Increases Energy Intake Across the Range of Typical Consumption in the United States. *Obesity*, 16(1), 64–69.
- Dresselhuis, D. M., Stuart, M. A. C., van Aken, G. A., Schipper, R. G., & Hoog, E. H. A. de. (2008). Fat retention at the tongue and the role of saliva: Adhesion and spreading of ‘protein-poor’ versus ‘protein-rich’ emulsions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 321(1), 21–29.
- Drewnowski, A., Henderson, S. A., & Barratt-Fornell, A. (1998). Genetic sensitivity to 6-n-propylthiouracil and sensory responses to sugar and fat mixtures. *Physiology & behavior*, 63(5), 771–777.
- Drewnowski, A., Henderson, S. A., & Shore, A. B. (1997). Genetic Sensitivity to 6-n-Propylthiouracil (PROP) and Hedonic Responses to Bitter and Sweet Tastes. *Chemical Senses*, 22(1), 27–37.
- Duffy, V. B., Bartoshuk L. M., Lucchina L. A., Snyder D. J., & Tym A. (1996). Supertasters of PROP (6-n-propylthiouracil) rate the highest creaminess to high-fat milk products. *Chemical senses*, 21, 598.
- Engelen, L., & van der Bilt, A. (2008). Oral Physiology and Texture Perception Of Semisolids. *Journal of Texture Studies*, 39(1), 83–113.

- Engelen, L., van den Keybus, P. A. M., Wijk, R. A. de, Veerman, E. C. I., Amerongen, A. V. N., Bosman, F., Prinz J. F., & van der Bilt A. (2007). The effect of saliva composition on texture perception of semi-solids. *Archives of oral biology*, 52(6), 518–525.
- Engelen, L., Wijk, R. A. de, Prinz, J. F., van der Bilt, A., & Bosman, F. (2003). The relation between saliva flow after different stimulations and the perception of flavor and texture attributes in custard desserts. *Physiology & Behavior*, 78(1), 165–169.
- Essick, G. K., Chopra, A., Guest, S., & McGlone, F. (2003). Lingual tactile acuity, taste perception, and the density and diameter of fungiform papillae in female subjects. *Physiology & behavior*, 80(2-3), 289–302.
- Froehlich, D. A., Pangborn, R. M., & Whitaker, J. R. (1987). The effect of oral stimulation on human parotid salivary flow rate and alpha-amylase secretion. *Physiology & Behavior*, 41(3), 209–217.
- Gaillard, D., Laugere, F., Darcel, N., El-Yassimi, A., Passilly-Degrace, P., Hichami, A., Khan, N. A., Montmayeur, J.-P., & Besnard, P. (2008). The gustatory pathway is involved in CD36-mediated orosensory perception of long-chain fatty acids in the mouse. *The FASEB journal : official publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, 22(5), 1458–1468.
- Galindo, M. M., Voigt, N., Stein, J., van Lengerich, J., Raguse, J.-D., Hofmann, T., Meyerhof, W., & Behrens, M. (2012). G Protein-Coupled Receptors in Human Fat Taste Perception. *Chemical Senses*, 37(2), 123–139.
- Green, B. G., Dalton, P., Cowart, B., Shaffer, G., Rankin, K., & Higgins, J. (1996). Evaluating the ‘Labeled Magnitude Scale’ for Measuring Sensations of Taste and Smell. *Chemical Senses*, 21(3), 323–334.
- Guinard, J.-X., Zoumas-Morse, C., & Walchak, C. (1997). Relation between Parotid Saliva Flow and Composition and the Perception of Gustatory and Trigeminal Stimuli in Foods. *Physiology & Behavior*, 63(1), 109–118.
- Hayes, J. E., Bartoshuk, L.M., Kidd, J. R., Duffy, V. B. (2008). Supertasting and PROP Bitterness Depends on More Than the TAS2R38 Gene. *Chemical Senses*, 33(3), 255–265.
- Hayes, J. E., & Duffy, V. B. (2007). Revisiting sugar-fat mixtures: sweetness and creaminess vary with phenotypic markers of oral sensation. *Chemical senses*, 32(3), 225–236.

- Hayes, J. E., Sullivan, B. S., & Duffy, V. B. (2010). Explaining variability in sodium intake through oral sensory phenotype, salt sensation and liking. *Physiology & behavior*, 100(4), 369–380.
- Keller, K. L., Liang, L. C. H., Sakimura, J., May, D., van Belle, C., Breen, C., Driggin, E., Tepper, B. J., Lanzano, P. C., Deng, L., & Chung, W. K. (2012). Common Variants in the CD36 Gene Are Associated With Oral Fat Perception, Fat Preferences, and Obesity in African Americans. *Obesity*, 20(5), 1066–1073.
- Laugerette, F., Passilly-Degrace, P., Patris, B., Niot, I., Febbraio, M., Montmayeur, J.-P., & Besnard, P. (2005). CD36 involvement in orosensory detection of dietary lipids, spontaneous fat preference, and digestive secretions. *The Journal of clinical investigation*, 115(11), 3177–3184.
- Lee, H.-S., & van Hout, D. (2009). Quantification of Sensory and Food Quality: The R-Index Analysis. *Journal of Food Science*, 74(6), R57–R64.
- Lim, J., Urban, L., & Green, B. G. (2008). Measures of individual differences in taste and creaminess perception. *Chemical senses*, 33(6), 493–501.
- Mackie, D. A., & Pangborn, R. M. (1990). Mastication and its influence on human salivary flow and alpha-amylase secretion. *Physiology & Behavior*, 47(3), 593–595.
- Macmillan, N. A., & Creelman C. D. (2005). *Detection theory: A user's guide* (second edition). New York: Cambridge University Press.
- Mattes, R. D. (2007). Effects of linoleic acid on sweet, sour, salty, and bitter taste thresholds and intensity ratings of adults. *American journal of physiology. Gastrointestinal and liver physiology*, 292(5), G1243-8.
- Mattes, R. D. (2009a). Is there a fatty acid taste? *Annual review of nutrition*, 29, 305–327.
- Mattes, R. D. (2009b). Oral detection of short-, medium-, and long-chain free fatty acids in humans. *Chemical senses*, 34(2), 145–150.
- Nasser, J. A., Kissileff, H. R., Boozer, C. N., Chou, C. J., & Pi-Sunyer, F. X. (2001). PROP taster status and oral fatty acid perception. *Eating behaviors*, 2(3), 237–245.
- Neyraud, E., Palicki, O., Schwartz, C., Nicklaus, S., & Feron, G. (2012). Variability of human saliva composition: Possible relationships with fat perception and liking. *Archives of Oral Biology*, 57(5), 556–566.

- Pivk, U., Godinot, N., Keller, C., Antille, N., Juillerat, M.-A., & Raspor, P. (2008). Lipid Deposition on the Tongue after Oral Processing of Medium-Chain Triglycerides and Impact on the Perception of Mouthfeel: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(3), 1058–1064.
- Robinson, K. M., Klein, B. P., & Lee, S. Y. (2004). Utilizing the R-Index Measure for Threshold Testing in Model Soy Isoflavone Solutions. *Journal of Food Science*, 69(1), SNQ1–SNQ4
- Rolls, E. T. (2011). The neural representation of oral texture including fat texture. *Journal of Texture Studies*, 42(2), 137–156.
- Rolls, E. T. (2012). Mechanisms for Sensing Fat in Food in the Mouth *Journal of Food Science*, 77(3), S140–S142.
- Schifferstein, H. N. J. (2012). Labeled Magnitude Scales: A critical review. *Food Quality and Preference*, 26(2), 151–158.
- Schiffman, S., Graham, B., Sattley-Miller, E., & Warwick, Z. (1998). Orosensory Perception of Dietary Fat. *Current Directions in Psychological Science*, 7(5), 137–143.
- Simons, P. J., Kummer, J. A., Luiken, J. J. F. P., & Boon, L. (2011). Apical CD36 immunolocalization in human and porcine taste buds from circumvallate and foliate papillae. *Acta Histochemica*, 113(8), 839–843.
- Stewart, J. E., Feinle-Bisset, C., Golding, M., Delahunty, C., Clifton, P. M., & Keast, R. S. J. (2010). Oral sensitivity to fatty acids, food consumption and BMI in human subjects. *The British journal of nutrition*, 104(1), 145–152.
- Streiner, D. L. (2002). Breaking Up is Hard to Do: The Heartbreak of Dichotomizing Continuous Data. *Canadian Journal of Psychiatry*, 2002(47), 262–266.
- Tepper, B. J., & Nurse, R. J. (1997). Fat perception is related to PROP taster status. *Physiology & behavior*, 61(6), 949–954.
- Theophilou, P., & Wilbey, R. A. (2007). Effects of fat on the properties of halloumi cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 60(1), 1–4.
- Weenen, H., Jellema, R. H., & Wijk, R. A. de. (2005). Sensory sub-attributes of creamy mouthfeel in commercial mayonnaises, custard desserts and sauces. *Food Quality and Preference*, 16(2), 163–170.

- Welch, H. G., Schwartz, L. M., & Woloshin, S. (2005). The exaggerated relations between diet, body weight and mortality: the case for a categorical data approach. *Canadian Medical Association Journal*, 172(7), 891–895.
- Wendin, K., Aaby, K., Edris, A., Ellekjaer, M. R., Albin, R., Bergenståhl, B., Johansson, L., Willers, E. P., & Solheim, R. (1997). Low-fat mayonnaise: influences of fat content, aroma compounds and thickeners. *Food Hydrocolloids*, 11(1), 87–99.
- Whitehead, M. C., & Kachele, D. L. (1994). Development of fungiform papillae, taste buds, and their innervation in the hamster. *The Journal of Comparative Neurology*, 340(4), 515–530.
- Whitehead, M. C., Beeman, C. S., & Kinsella, B. A. (1985). Distribution of taste and general sensory nerve endings in fungiform papillae of the hamster. *American Journal of Anatomy*, 173(3), 185–201.
- Wijk, R. A. de, & Prinz, J. F. (2007). Fatty versus creamy sensations for custard desserts, white sauces, and mayonnaises. *Food Quality and Preference*, 18(4), 641–650.
- Yackinous, C., & Guinard, J. X. (2001). Relation between PROP taster status and fat perception, touch, and olfaction. *Physiology & behavior*, 72(3), 427–437.
- Yeomans, M. R., Tepper, B. J., Rietzschel, J., & Prescott, J. (2007). Human hedonic responses to sweetness: role of taste genetics and anatomy. *Physiology & behavior*, 91(2-3), 264–273.

3 Dritte Veröffentlichung

Title: The influence of oral phenotypic markers and fat perception on fat intake during a breakfast buffet and in a 4-day food record.

Food Quality and Preference 2014 (32) 173-183

Received 16 May 2013

Received in revised form 24 October 2013

Accepted 24 October 2013

Available online 1 November DOI: 10.1016/j.foodqual.2013.10.009

Authors: René Nachtsheim^a, Elmar Schlich^a

^a Department of Process Engineering in Food and Servicing Business, Stephanstr. 24, 35390 Giessen, Germany

Corresponding author: René Nachtsheim, Department of Process Engineering in Food and Servicing Business, Stephanstr. 24, 35390 Giessen, Germany, Tel.: +496419939354, Fax: +496419939359,

E-mail: rene.nachtsheim@ernaehrung.uni-giessen.de.

NOTICE: this is the author's version of a work that was accepted for publication in Food Quality and Preference. Changes resulting from the publishing process, such as peer review, editing, corrections, structural formatting, and other quality control mechanisms may not be reflected in this document. Changes may have been made to this work since it was submitted for publication. A definitive version was subsequently published in Food Quality and Preference, [Vol. 32, p. 173-183, available Online 1 November] DOI: 10.1016/j.foodqual.2013.10.009"

Abstract

The ability to discriminate among foods with different fat contents has been associated with preference for high-fat foods and total fat intake. Consequently, oral phenotypic markers that influence fat perception may influence food selection and fat intake. The aim of this study was to investigate how the fungiform papilla (FP) count on the tongue tip, 6-n-propylthiouracil (PROP) bitterness, saliva flow, the increase in salivary flow via oil stimulation and the ability to perceive fat influence fat intake and food selection. A total of 107 subjects (80 female, 27 male) completed a 4-day self-administered food record before they rated the fat contents of different milk-cream mixtures and a high-fat emulsion. Of these subjects, 103 (76 female, 27 male) participated in an ad libitum breakfast buffet that was offered at the university cafeteria. The results show that the perception of the fat content of cream with 30.0% fat was associated with energy intake from fat and discretionary fats over 4 days and during the breakfast buffet. Subjects with lower FP counts ate relatively more high fat milk and spreads and as a consequence more fat during the breakfast buffet than subjects with high FP counts. The increase in salivary flow via oil stimulation was positively correlated with the reported intakes of discretionary and total fat over 4 days. These results support the hypothesis that FP count and the intensity perception of supra-threshold differences in fat content might play an important role in the selection of high-fat foods and fat intake.

Keywords: Fat perception, 6-n-Propylthiouracil, Fungiform papilla, Saliva flow, Fat intake, Breakfast buffet

1. Introduction

The sensory properties of food, as well as cultural, socioeconomic and biological factors, have been suggested to be a main determinant of food choice (Drewnowski, 1997 and Köster, 2009). Therefore, physiological factors influencing the perception of the sensory properties of food might affect nutritional behavior and the development of diet-related diseases (Duffy, 2007 and Sørensen, Møller, Flint, Martens & Raben, 2003). The influence of oral physiology on the perception of fat is of particularly broad interest due to the accumulating evidence showing a relationship between the ability to detect differences in fat content among foods and fat intake (Keller et al., 2012 and Stewart et al., 2010). Physiological factors that have been suggested to influence the intake of fat through an influence on the perception of fat are the fungiform papilla (FP) count (Hayes & Duffy, 2008), the perceived intensity of the bitter tasting substance 6-n-propylthiouracil (PROP) (Kamphuis & Westterterp-Plantenga, 2003, Yackinous & Guinard, 2002) and saliva flow (SF) (Neyraud et al., 2012).

Humans have a large variation in FP count, which could possibly explain individual differences in oral sensation (Correa, Hutchinson, Laing, & Jinks, 2013). FP houses taste buds that contain taste receptors and are innervated and surrounded by trigeminal neurons, which are involved in the texture perception of food (Whitehead, Beeman, & Kinsella, 1985 and Whitehead & Kachele, 1994). As a result, subjects with a high FP count have a higher trigeminal innervation and perceive tactile stimuli to be more intense than subjects with a low FP count (Essick et al., 2003). Furthermore, it can be assumed that taste buds contain putative fatty acid receptors involved in fat perception (Galindo et al., 2012). This would lead to the conclusion that the textural attributes of fat are detected through the mechanoreceptors of the trigeminal neurons, and the fatty acids in fats are detected through the fatty acid receptors of the chemosensory system (Galindo et al., 2012 and Rolls, 2012); thus, the number of FP may influence fat perception. Recent studies have shown that FP count is positively correlated with ratings of creaminess (Hayes & Duffy, 2007) and perceived fat content (Nachtsheim & Schlich 2013). A follow-up study by Hayes and Duffy (2008) showed that women with high FP counts had a point of optimal liking for fat, whereas women with low FP counts exhibited a constant level of liking at increasing fat content (Hayes & Duffy 2008). On this basis, food liking is suggested to determine intake (Tuorila et al., 2008); the FP count might influence fat intake. Until now no study has investigated the influence of the FP count on fat intake.

The perceived intensity of the bitter tasting substance 6-n-propylthiouracil (PROP) is the best-studied phenotypic marker of oral physiology and has been used to explain individual differences in fat perception and fat intake (Hayes & Duffy, 2007, Kamphuis & Westerterp-Plantenga, 2003, Tepper, Neilland, Ullrich, Koelliker & Belzer, 2011, Tepper & Nurse, 1997). Individuals who perceive PROP as only slightly bitter are called PROP nontasters (pNT), whereas individuals who are able to perceive PROP as moderately or extremely bitter are called PROP medium tasters (pMT) and supertasters (pST), respectively (Bartoshuk, Duffy, & Miller, 1994). Several studies have shown that pSTs perceive oral sensations from fat in foods more intensely (Hayes & Duffy, 2007 and Tepper & Nurse, 1997) and have a lower acceptance of full fat milk (Keller, Steinmann, Nurse, & Tepper, 2002), high-fat salad dressings (Tepper & Nurse, 1998) and sweet-fat dairy mixtures than do pNTs (Hayes & Duffy, 2008). The postulated mechanism by which the perceived intensity of PROP bitterness influences the perception of fat is caused by a higher trigeminal innervation due to the higher FP count on the tongue tips of pSTs compared to pNTs (Yackinous & Guinard, 2001). However, several studies have found no relationship between PROP bitterness and fat perception or preference (Drewnowski, Henderson, & Barratt-Fornell, 1998, Keller et al., 2002, Lim, Urban, & Green, 2008 and Nachtsheim & Schlich 2013). These results may be contradictory due to the use of saltiness as a standard for the classification of pNT, pMT and pST (Yackinous & Guinard, 2001) and the use of scales that are not generalized outside an oral context (Bartoshuk, Duffy, Hayes, Moskowitz, & Snyder, 2006). Furthermore, the ranges of fat content tested (Yackinous & Guinard, 2001) and the FP counts between the taster groups differed in each study (Essick et al., 2003).

As a result of the reduced preference for high fat foods (Keller, Steinmann, Nurse, & Tepper, 2002, Tepper & Nurse, 1998, Hayes & Duffy 2008), pST might have a lower dietary fat intake. Studies that have investigated the effect of PROP bitterness on dietary fat intake have reported contradictory results. Yackinous and Guinard (2002) showed that pST and pMT women consumed a greater percentage of their dietary energy from fat than pNT women, whereas Drewnowski, Henderson, and Cockcroft (2007) and Borazon, Villarino, Magbuhat, and Sabandal (2012) found no relationship between PROP bitterness and fat intake. Studies in children showed that PROP bitterness is negatively correlated with the intake of energy and discretionary fats, especially in girls (Goldstein, Daun, & Tepper, 2007 and Keller et al., 2002). However, these results could not be confirmed by a recent study (O'Brien, Feeney, Scannell, Markey, & Gibney, 2013). Differences in the methods used to determine the PROP status and the indirect methods used to assess fat intake, such as food frequency

questionnaires (Keller et al., 2002 and Yackinous & Guinard, 2002), diet history (O'Brien, Feeney, Scannell, Markey, & Gibney, 2013) and dietary intake records (Borazon et al., 2012, Goldstein, Daun, & Tepper, 2007), might explain some of the inconsistencies in the reported effects of PROP bitterness on fat intake. Studies using indirect measures to determine nutritional behavior are especially prone to underreporting of foods with a high fat content and thus total fat intake (Brunner, Stallone, Juneja, Bingham, & Marmot, 2001, Carlsen et al., 2010 and Westerterp & Goris, 2002), which may lead to an underestimation of the effect of PROP bitterness on fat intake. However, studies that measured actual intake during lunch buffets also showed discrepancies in their results. Kamphuis and Westerterp-Plantenga (2003) showed that PROP tasters consumed more energy from fat in a mixed lunch buffet than pNTs. In contrast, Tepper, Neilland, Ullrich, Koelliker, and Belzer (2011) could not find an influence of PROP status on macronutrient selection, but showed that pNT consumed more energy from taco, pizza or sandwich lunches compared to the control lunch with fixed food items than PROP tasters (pMTs and pSTs). Differences in the methods used to determine the PROP status and the lunch items may explain the contradictory results (Tepper et al., 2011). To date, no study has investigated the influence of PROP bitterness on dietary intake during a breakfast buffet. A breakfast buffet might be a more appropriate meal situation because the subjects can alter their fat intake directly by choosing foods with different fat contents (e.g., spreads or dairy products).

Another physiological factor that might influence fat intake by influencing fat perception is SF. The diluting and lubricating properties of the saliva may influence the perception of the fat related texture attributes (Engelen, de Wijk, Prinz, van der Bilt, & Bosman, 2003, Neyraud et al., 2012). Furthermore, SF can be increased through oil stimulation (SFI), which has been suggested to influence fat perception (Nachtsheim & Schlich 2013). Until now, no study has investigated the influence of SF or SFI on fat intake.

The objective of this research was to further investigate the influence of PROP bitterness, fungiform papilla count, saliva flow and fat perception on fat intake. Previous research on the same cohort showed that FP count and SFI had a significant influence on the perception of fat (Nachtsheim & Schlich 2013). The hypotheses tested in this study were that (1) PROP bitterness influences fat intake, (2) fungiform papilla count influences fat intake, (3) saliva flow influences fat intake, and (4) fat perception influences fat intake. For hypothesis (3), two sub-hypotheses were defined: (3.1) unstimulated saliva flow influences fat intake, and (3.2) the absolute amount of SFI influences fat intake. To the best of our knowledge, this is the first

study to investigate the influence of oral physiology and the ability to perceive fat on dietary intake during a breakfast buffet.

2. Materials and methods

2.1 Subjects and study procedure

A total of 121 subjects were recruited into a larger observational study to test the relationship between oral physiology, fat perception and food selection. The selected volunteers were between the ages of 19-39 years, healthy, not pregnant, not lactating, not dieting and free from deficits in taste or smell. The subjects provided written consent and were paid for their participation. The health status and breakfast behavior of each subject were assessed via questionnaire. A detailed description of the sensory and physiological measurements (Fungiform papilla count, PROP bitterness, saliva flow and saliva flow increase through oil stimulation) can be found in Nachtsheim and Schlich (2013). Overall, 116 subjects participated in the physiological tests and were divided into two groups according to FP count, saliva flow and saliva flow increase using the statistical method median split. A total of 107 subjects (80 female, 27 male) completed a food record and participated in all physiological and fat perception tests. In this group, the mean age was 23.5 (range of 19-39 years), the mean weight was 66.7 kg (range of 44.0-100.0 kg), and the mean body mass index was 22.5 kg/m² (range of 14.9-35.1 kg/m²). A total of 103 subjects (76 female, 27 male) participated in the ad libitum breakfast buffet and the physiological and fat perception tests. In this group, the mean age was 23.5 (range of 19-39 years), the mean weight was 66.4 kg (range of 44.0-100.0 kg), and the mean body mass index was 22.4 kg/m² (range of 14.9-31.6 kg/m²).

Sensory and physiological tests were performed in five sessions. In the first session (30 min), the sensory tests, physiological tests and food record were explained. The subjects completed the food record in the two weeks following the first session. In the second session, PROP bitterness and FP count on the tongue tip were measured (45 min). In sessions three, four and five (60 min each), unstimulated and stimulated SF were determined prior to the sensory fat perception tests. Sessions three, four and five were held at 1-week intervals. Two months after the sensory tests, subjects were asked to document their food intake during three ad libitum breakfast experiments. Three subjects only participated in two of the three

breakfast experiments. The study was approved by the Ethical Committee of the University of Giessen.

2.2 Stimuli

Milk samples with fat contents of 1.5% and 3.5% (Euco GmbH, Hamburg, Germany) and cream samples with fat contents of 30.0% (Penny Markt GmbH, Cologne, Germany) were purchased at the local supermarket. Equal amounts of milk with 3.5% fat and cream were mixed to produce a milk-cream mixture with 16.75% fat. The milk and cream samples were stored at room temperature (20 ± 2 °C) and served in 40 ml plastic cups. High-fat emulsions with fat contents of 70.0% and 90.0% were produced by Walter Rau Lebensmittelwerke GmbH (Hilter, Germany) using a margarine pilot plant of Gerstenberg & Schröder (Lübeck, Germany). The fat phase consisted of rapeseed oil and fractionated palm fat. Citric acid, potassium sorbate and ethylenediaminetetraacetic acid were dissolved in the water phase. The process parameters and exact formulations were reported in Nachtsheim and Schlich (2013). The emulsions were stored at 4 °C and brought to room temperature (20 ± 2 °C) prior to tasting.

2.3 PROP status determination

The PROP status of each subject was determined using a modified classification method from Bartoshuk, Duffy, and Miller (1994). The subjects were classified by taster status as determined by rating the intensity of five 20 ml solutions of PROP (Schuchardt, Hohenbrunn, Germany) and NaCl (Dr. Paul Lohmann GmbH KG, Emmerthal, Germany) on a 100 mm labeled magnitude scale (LMS) (Green et al., 1996). The solutions were presented in order of increasing concentration. The concentrations of the PROP solutions were 0.032 mM (PROP₁), 0.176 mM (PROP₂), 0.32 mM (PROP₃), 1.76 mM (PROP₄) and 3.2 mM (PROP₅), and the concentrations of the NaCl solutions were 0.01 M (NaCl₁), 0.05 M (NaCl₂), 0.1 M (NaCl₃), 0.5 M (NaCl₄), and 1.0 M (NaCl₅). The PROP and NaCl were dissolved in demineralized water. The solutions were served at room temperature and stored for a maximum of 2 days. The salt solutions were tasted first, followed by the PROP solutions. The subjects rinsed 2 times with demineralized water before each tasting. The psychophysical functions of both tastants were calculated and compared for each subject. The subjects who perceived the NaCl

solutions as much stronger than the PROP solutions were classified as pNTs. Those who perceived approximately the same intensity for PROP and NaCl were classified as pMTs. Those who perceived the PROP solutions as much stronger than the NaCl solutions were classified as pSTs. The classification of the subjects as pNT, pMT or pST was validated with one-way mixed design analysis of variance (ANOVA) conducted separately for pNTs, pMTs and pSTs, with concentrations as the within-subject factor and the type of taste stimulus as the between-subject factor. The perceived bitterness of the 3.2 mM PROP solution was used to report the results as continuous variable.

2.4 Fungiform papilla count

To measure the FP count, each subject was asked to protrude his or her tongue and hold it steady. The tongue was dried with filter paper, stained with a blue food colorant (Brilliant Blue, Dr. Ehrenstorfer GmbH, Augsburg, Germany) and then dried again. A circle of filter paper (6 mm diameter, Carl Roth GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Germany) was placed on the right side of the tongue and was used as a template. Several photographs were taken using a 15.1-megapixel digital camera (Canon EOS 500) in macro mode. The photographs were analyzed using FotoFiltre 6.3.1 software. The number of FPs in a circle with an area of 28.3 mm² on the left side of the tongue tip was counted. Only FPs that were at least 50% inside the circle were counted. The FPs were counted independently by two researchers. There was no significant difference between the counts of the researchers, and the mean of the two counts was calculated and used for further analyses.

2.5 Saliva flow

SF was measured using the spitting method as described by Dawes (1987). The subjects bent their heads forward, and after an initial swallow, spit into a pre-weighed container every 60 seconds for five minutes. The containers were collected and immediately weighed to determine the unstimulated SF. After a 2-minute break, the subjects received 20 ml of refined rapeseed oil (Euco GmbH, Hamburg, Germany) as a stimulus. The subjects rinsed their mouth with the stimulus for 5 seconds and then spit it out in a trash cup. The saliva was again collected for five minutes to determine the stimulated SF. The unstimulated SF and the saliva flow increase through oil stimulation (SFI) (g/min) were calculated. The SFI was calculated

by subtracting the unstimulated SF from the stimulated SF. The arithmetic mean of the SF and SFI was only calculated from repetitions that showed no significant differences. As a result, only repetitions two and three were used to calculate the arithmetic mean of SF and SFI.

2.6 Sensory evaluation of fat perception

In order to measure fat perception, intensity perception of supra-threshold fat contents and the ability to discriminate between threshold differences in fat content was evaluated. The subjects performed three sensory tests: an A-Not-A test with milk samples (1.5% vs. 3.5% fat), fat content intensity ratings of samples with supra-threshold differences in fat content (3.5%, 16.75%, 30.0%, 70.0% fat) and an A-Not-A test with high-fat emulsions (70.0% vs. 90.0% fat). The tests were conducted in the above order in a sensory test room and were not randomized because fatigue and adaption effects were expected after the A-Not-A test with the high-fat emulsions. The tests were conducted under red light to minimize differences in color and reflectance, and the subjects had to wear nose clips to decrease retro-nasal olfaction during tasting. The sip and spit technique was used in all of the sensory tests.

In order to test the intensity perception of supra-threshold fat contents the subjects had to rate the fat content of milk (3.5% fat), a milk-cream mixture (16.75% fat), cream (30.0% fat) and a high-fat emulsion (70.0% fat) on a 100 mm visual intensity scale. The scale was anchored at the ends with “extremely low” and “extremely high”. The arithmetic mean of the perceived fat content was only calculated from repetitions that showed no significant differences. As a result, only repetitions two and three were used to calculate the arithmetic mean of the fat content ratings.

The ability to discriminate between foods with different fat contents was evaluated with two A-Not-A tests with a constant reminder. The A-Not-A tests were conducted according to Nachtsheim and Schlich (2013). In the first A-Not-A test, we used milk with 1.5% fat as the A and milk with 3.5% fat as the Not-A sample. In the second A-Not-A test, we used a 70.0% high-fat emulsion as the A and a 90.0% high-fat emulsion as the Not-A sample. The subjects received the A sample (40 ml) and six unknown samples (20 ml) of either A or Not-A. The sample with the lower fat content was always the A sample and was always tested prior to every unknown sample. After tasting each sample, the subjects were asked to decide whether the test sample had the same fat content as A or not (Not-A) and to indicate how confident they were of their decisions. Possible responses were: more sure, sure, unsure and more

unsure. Overall, each subject made six comparisons and sureness ratings in one testing period. The subjects had no time limit for the comparison and were forced to make a decision.

To evaluate the A-Not-A tests, the R-Indices were calculated as described by Macmillan and Creelman (2005) using the data from all of the testing periods.

2.7 Ad libitum breakfast experiment

The ad libitum breakfast buffet was offered on Wednesday and Thursday from 8:00 to 10:40 for three weeks at the university cafeteria. The subjects were divided into groups of 20 and allowed to participate in the breakfast experiment in 40-minute intervals. Subjects were given 40 minutes to select and eat their breakfasts. The subjects were instructed not to eat or drink anything before the breakfast. Only familiar and popular breakfast items were offered. To ensure that the subjects consumed a typical breakfast, they were asked to describe their typical breakfast in a questionnaire prior to the buffet. The breakfast offerings were designed on the basis of these answers. The breakfast items offered and their nutritional composition are given in Table 1. The subjects received a protocol listing all items available at the breakfast and documented the items they consumed. The weight of the food items was documented by the researchers before the breakfast and was used as a reference for the calculation of the intake of energy, macronutrients and food items. The consumed spreads, milk, tea and coffee were weighed with a digital balance by every subject (HCK-500, Dipse, Oldenburg, Germany). The major dietary outcome variables of the breakfast experiment were: mean energy intake (kJ), mean percent energy from fat, protein, carbohydrates and mean percent energy from spreads, milk, cheese and sausage products with different fat contents. The intakes of milk with fat contents of 3.5% and 4.0% were merged and denoted as “milk >3.5%” because few participants selected the 4.0% milk.

Table 1 Food items of the breakfast experiment

Food item	Energy/100 g	Macronutrients/100 g		
		Protein (g)	Carbohydrate (g)	Fat (g)
Whole-grain roll	929 kJ	7.96	43.3	1.53
Roll	1038 kJ	7.43	50.7	1.35
Whole-grain bread	787 kJ	6.49	37.6	0.96
Pumpkin seed bread	771 kJ	6.9	31.5	3.2
Cereal Mix	1383 kJ	8.8	66.8	2.5
Milk, 1.5% fat	195 kJ	3.4	4.9	1.5
Milk, 3.5% fat	267 kJ	3.3	4.8	3.5
Milk, 4.0% fat	412 kJ	6.5	9	4
Curd cheese	315 kJ	13.5	4	0.2
Edam cheese	1085 kJ	29	0	16
Gouda cheese	1427 kJ	23	0	28
Camembert cheese	1764 kJ	14	0.5	41
Boiled ham	468 kJ	20	1	3
Ham sausage	827 kJ	15	1	15
Salami	1825 kJ	18	1	40
Margarine, 39.0% fat	1443 kJ	0	0	39
Margarine, 80.0% fat	2960 kJ	0	0	80
Butter	3102 kJ	0.67	0.6	83.2
Marmalade	999 kJ	0.4	57	0.2
Sugar	1695 kJ	0	99.8	0
Honey	1283 kJ	0.4	75.1	0.1
Hazelnut spread	2228 kJ	6.8	56.8	31
Coffee	8 kJ	0	0.3	0
Tea	2 kJ	0.1	0.001	0.001

2.8 Food records

The dietary fat intake of the subjects was measured over 4 days using a self-administered food record. The subjects were given the food records during the first session and were instructed to complete the records over four consecutive days, including 1 weekend day, within the following two weeks. In addition, the subjects received a booklet with written instructions on how to complete the food record and pictures of portion sizes to improve the estimation of portion sizes. The booklet was a shortened version of the one introduced by Koebnick et al. (2005). The subjects were required to document the time of consumption,

preparation, and estimated amount consumed in grams or milliliters. Subjects were also required to write down the nutritional information for every food item, if available, to increase the reporting accuracy of the fat intake. The major dietary outcome variables of the 4-day food record were: mean energy intake (kJ), mean percent energy from fat, protein, carbohydrates and discretionary fats. The following foods were classified as discretionary fats: spreads, oils, shortenings, mayonnaise, salad dressings and cream in all available fat contents.

2.9 Data analysis

Dietary intake data from the 4-day food record and the breakfast experiment were collected and evaluated using the software DGE PC 4.2 (DGE e. V., Bonn, Germany). The evaluation was carried out with reference to the German Food Code and Nutritional Database BLS II.3. SPSS 19.0 for Windows (SPSS Inc., Chicago, Illinois) was used for the statistical analyses, and 0.05 was selected as the level of significance for all of the statistical tests.

The effect of the physiological factors (PROP bitterness, FP count, SF and SFI) on the dietary outcome variables of the breakfast experiment and the food record were tested using a multivariate analysis of variance (MANOVA) or a multivariate analysis of covariance (MANCOVA). The physiological factors were included as continuous variables (continuous model) in the MANCOVA or as discrete variables (discrete model) in the MANOVA. To convert the physiological parameters into discrete variables, a median split was used as the classification method for all variables except PROP bitterness (classified in three levels, see section 2.3 for the classification method). The subjects with a value less than or equal to the median for a given physiological property were classified as “low”, and those above the median were classified as “high”. The continuous and discrete models were calculated to enable comparisons with the results of previous studies and to test whether the classification affects the significance of the results.

The F-ratio transformed from the Wilks' lambda was used as multivariate test statistics. Significant effects in the MANOVA or MANCOVA were further analyzed with separate analysis of variance (ANOVA) or covariance (ANCOVA) performed for each of the dependent variables. ANOVA was followed by a Bonferroni test when significant differences were found.

Separate MAN(C)OVAs were calculated to analyze the effect of oral phenotypic markers on the macronutrient and discretionary fat intake reported in the food record: the macronutrient intake observed during the breakfast buffet and the intakes of food items with different fat content observed during the breakfast buffet. The effects of the physiological factors on the mean energy intake reported in the food record and observed at the breakfast buffet were calculated in a separate AN(C)OVAs. All food record and breakfast buffet outcome variables were standardized for energy intake. Gender and the two-way interactions between gender and the physiological factors were included in the statistical model. Interactions between gender and PROP status should be interpreted with caution because of the small size of the subgroup of male nontasters ($N = 6$) and male supertasters ($N = 7$).

The effect of fat perception on fat intake was also tested using a MANCOVA with the food record or breakfast experiment outcome variables as dependent factors and gender, mean perceived intensities of the fat content from the different samples or calculated R-Indices as independent factors. The relationship between the intensity perception of supra-threshold fat contents and the ability to discriminate between threshold differences in fat content was tested using Pearson's correlation coefficient.

The analyses were performed separately for the intensity ratings of the perceived fat content and the R-Indices. Two-way interactions between gender and perceived fat content or R-Indices were included in the statistical models. Tendencies ($p < 0.1$) were reported in the Results section when a factor had a significant effect in the continuous or discrete model and in the Discussion if a previous study found significant results.

3. Results

3.1 Descriptive analysis of the phenotypic markers and their relationships

Table 2 shows the descriptive statistics of the oral phenotypic parameters. The subjects were classified as pNTs ($N = 36$), pMTs ($N = 57$) or pSTs ($N = 23$). The food record was completed by 34 pNTs (6 male, 28 female), 50 pMTs (14 male, 36 female) and 23 pSTs (7 male, 16 female). The ad libitum breakfast buffet was attended by 33 pNTs (6 male, 27 female), 47 pMTs (14 male, 33 female) and 23 pSTs (7 male, 16 female). The type of solution was a significant main effect for the pNT group ($F(1;70) = 180.45$; $p < 0.001$), the pMT group ($F(1;112) = 6.97$; $p < 0.01$) and the pST group ($F(1;44) = 13.12$; $p < 0.01$). The pNT group

perceived NaCl₁₋₅ to be significantly stronger than PROP₁₋₅ (all $t > 5.53$; all $p < 0.001$). The pMT group rated NaCl₃ and NaCl₅ as significantly higher than PROP₃ and PROP₅ (all $t > 2.56$; all $p < 0.05$). The pST group rated NaCl₁₋₄ to be significantly weaker than PROP₁₋₄ (all $t < -3.00$; all $p < 0.01$). The pST group had the highest FP count (34), followed by the pNT group (32) and pMT group (31). The differences in FP counts were not significant. In contrast, the FP count was significantly correlated ($r = 0.208$; $p < 0.05$) to the bitterness of the 3.2 mM PROP solution. Furthermore, the FP count and the SFI showed a significant correlation ($r = -0.225$; $p < 0.05$). Gender had no significant influence on PROP bitterness, FP count, SF or SFI (data not shown).

Table 2 Descriptive statistics of the physiological parameters (Nachtsheim, Schlich 2013)

	Mean	Std. Deviation	Range	Median	Group	Group N	Group mean
FP	31.86	6.81	12 to 51	31.5	Low	59	26.64
					High	57	37.26
SF (g/min)	0.43	0.21	0.08 to 1.32	0.39	Low	54	0.28
					High	54	0.59
SFI (g/min)	0.06	0.10	-0.28 to 0.42	0.05	Low	54	0.13
					High	54	-0.01

FP=Fungiform papilla; SF=Saliva flow; SFI=Saliva flow increase

3.2 Breakfast experiment

3.2.1 The influence of gender on dietary outcome variables

Table 3 shows the dietary outcome variables examined in the breakfast buffet experiment. In the discrete model, the mean energy intake was significantly lower in women than in men ($F(1;91) = 25.769$; $p < 0.001$). Furthermore, gender had a significant main effect on macronutrient selection during the breakfast experiment in the discrete model ($F(3;89) = 5.426$; $p < 0.01$). Women had a lower mean energy intake from fat ($F(1;91) = 15.683$; $p < 0.001$) and a higher mean energy intake from carbohydrates than men ($F(1;91) = 10.040$; $p < 0.005$). In the continuous model, women tended to consume less energy from total fat than did men ($F(1;93) = 3.194$; $p = 0.077$). Moreover, gender had a significant main effect on the mean energy intake from several food items in the continuous model ($F(5;89) = 3.075$; $p < 0.05$). In the continuous model, women consumed a significantly higher percentage of energy from milk with 1.5% fat ($F(1;93) = 6.474$; $p < 0.05$) and a lower percentage of energy from

margarine with 80.0% fat ($F(1;93) = 5.126$; $p < 0.05$) than did men. In the discrete model, women consumed more energy from salami than did men ($F(1;91) = 14.176$; $p < 0.005$).

Table 3 Influence of gender on dietary outcome variables examined in the breakfast buffet

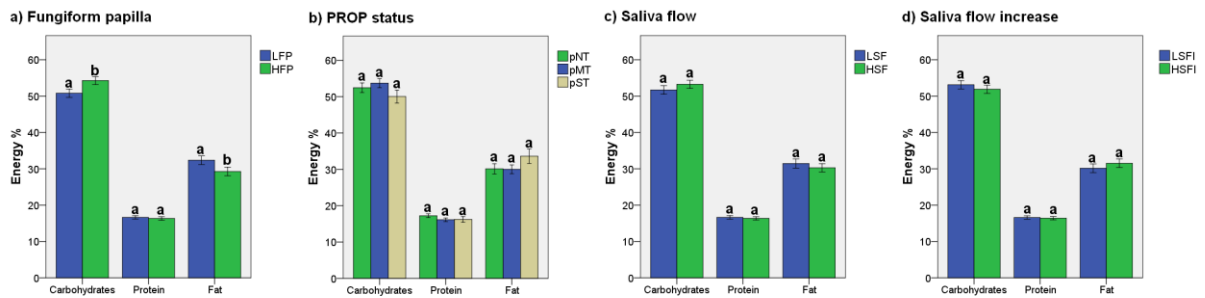
	men (N = 27)	women (N = 76)	Total (N = 103)
<i><u>Subject characteristic</u></i>			
Age (yr)	23.89 \pm 0.58a	23.39 \pm 0.38a	23.52 \pm 0.32
BMI (kg/m ²)	23.64 \pm 0.47a	21.93 \pm 0.31b	22.38 \pm 0.27
<i><u>Dietary intake</u></i>			
Energy (kJ)	3402.28 \pm 275.69a	2517.00 \pm 84.20b	2749.07 \pm 102.04
Carbohydrates (%)	48.18 \pm 1.72a	54.02 \pm 0.85b	52.49 \pm 0.81
Protein (%)	15.69 \pm 0.55a	16.80 \pm 0.40a	16.51 \pm 0.33
Fat (%)	36.01 \pm 1.77a	29.03 \pm 0.88b	30.86 \pm 0.85
Margarine, 39.0% fat (%)	1.12 \pm 0.43a	1.24 \pm 0.28a	1.21 \pm 0.24
Margarine, 80.0% fat (%)	2.35 \pm 0.82a*	0.49 \pm 0.32a*	0.98 \pm 0.33
Butter, 83.2% fat (%)	9.37 \pm 1.61a	7.25 \pm 0.89a	7.81 \pm 0.78
Milk, 1.5% fat (%)	2.87 \pm 1.07a*	3.63 \pm 0.58a*	3.43 \pm 0.51
Milk, 3.5% fat (%)	4.76 \pm 1.23a	3.02 \pm 0.75a	3.47 \pm 0.64
Boiled ham, 3.0% fat (%)	1.75 \pm 0.46a	1.41 \pm 0.25a	1.50 \pm 0.22
Ham sausage, 15.0% fat (%)	1.29 \pm 0.66a	1.19 \pm 0.33a	1.21 \pm 0.29
Salami, 40.0% fat (%)	3.74 \pm 1.18a	1.31 \pm 0.37a	1.95 \pm 0.42
Edam cheese, 16.0% fat (%)	3.87 \pm 1.02a	3.03 \pm 0.59a	3.25 \pm 0.51
Gouda, 28.0% fat (%)	5.47 \pm 1.03a	7.93 \pm 0.93a	7.28 \pm 0.75
Camembert, 41.0% fat (%)	5.01 \pm 1.60a	2.53 \pm 0.62a	3.18 \pm 0.63

Different letters indicate significant differences in energy intake between the groups when the variable was treated as a discrete factor ($p < 0.05$). Significant effects that remained significant ($p < 0.05$) when the variable is treated as continuous factor are marked with *.

3.2.2 The influence of oral physiology on dietary outcome variables

The FP count was the only physiological factor that significantly influenced macronutrient intake when treated as a discrete variable ($F(3;89) = 3.521$; $p < 0.05$) (see Figure 1a). Separate univariate ANOVAs showed that subjects in the low FP (LFP) group had a significantly higher mean energy intake from fat ($F(1;91) = 9.231$; $p < 0.005$) and a lower mean energy intake from carbohydrates ($F(1;91) = 10.077$; $p < 0.005$) than the high FP (HFP) group. In the

continuous model, subjects with a lower FP count tended to have a higher mean energy intake from fat ($F(1;93) = 3.427$; $p = 0.067$), and a significant interaction between gender and SFI was observed ($F(3;91) = 3.274$; $p < 0.05$). The interaction was significant for the mean energy intake from protein ($F(1;93) = 8.763$; $p < 0.005$).

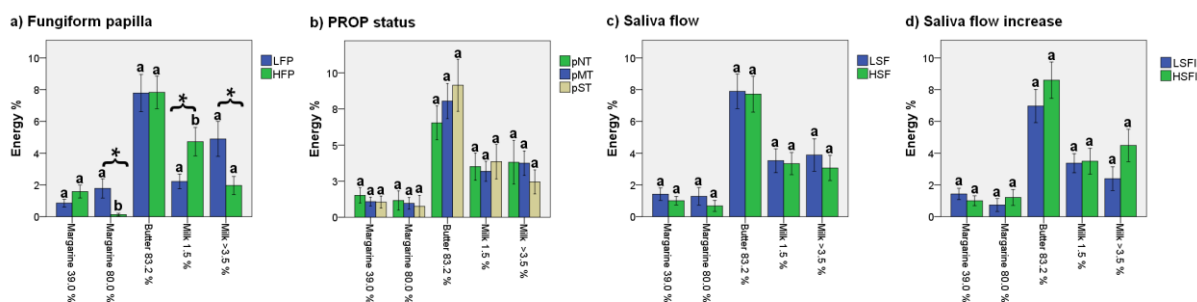


LFP=low fungiform papillae; HFP=high fungiform papillae; pNT=PROP nontaster; pMT=PROP medium taster; pST=PROP supertaster; LSF=low saliva flow; HSF=high saliva flow; LSF1=low saliva flow increase; HSF1=high saliva flow increase

Fig. 1 The mean (\pm standard error) energy intake from macronutrients examined from the breakfast buffets. Different letters indicate significant differences in energy intake between the groups when the variable was treated as a discrete factor ($p < 0.05$). Significant effects that remained significant ($p < 0.05$) when the variable was treated as continuous factor are marked with *.

Furthermore, the FP count was associated with the energy intake from several food items in the discrete ($F(5;87) = 3.410$; $p < 0.01$) and continuous models ($F(5;89) = 3.230$; $p < 0.05$) (see Figure 2a). Separate univariate ANOVAs showed that subjects of the LFP group had a significantly higher mean energy intake from margarine with 80.0% fat ($F(1;91) = 8.230$; $p < 0.01$) than did subjects from the HFP group. The effect of the margarine with 80.0% fat on the energy intake remained significant in the continuous model ($F(1;93) = 6.298$; $p < 0.05$). Furthermore, the LFP group consumed more energy from milk with $>3.5\%$ fat, but this effect was only significant when FP count was treated as continuous factor ($F(1;93) = 6.550$; $p < 0.05$). In contrast, the HFP group consumed more energy from milk with 1.5% fat than the LFP group. The effect was significant when FP count was treated as discrete ($F(1;91) = 10.081$; $p < 0.005$) or continuous ($F(1;93) = 6.587$; $p < 0.05$) factor. No significant influence of the physiological parameters on the intake of cheese and sausage products with different fat contents or overall energy intake during the breakfast buffet was observed (data not shown). A significant interaction between gender and PROP status on energy intake was observed in

the discrete model ($F(2;91) = 8.131; p < 0.005$). Male pSTs had a higher energy intake than male pNTs and pMTs, whereas female pSTs had a lower energy intake than female pNTs and pMTs (data not shown). Due to the small number of male pSTs ($N = 7$) and pNTs ($N = 6$), these results were not interpreted further (data not shown).



LFP=low fungiform papillae; HFP=high fungiform papillae; pNT=PROP nontaster; pMT=PROP medium taster; pST=PROP supertaster; LSF=low saliva flow; HSF=high saliva flow; LSF=low saliva flow increase; HSF=high saliva flow increase

Fig. 2 The mean (\pm standard error) energy intake from total fat, margarine, butter and milk during the ad libitum breakfast experiment. Different letters indicate significant differences in energy intake between the groups when the variable was treated as a discrete factor ($p < 0.05$). Significant effects that remained significant ($p < 0.05$) when the variable was treated as continuous factor are marked with *.

3.2.3 The influence of fat perception on the dietary outcome variables

The ability to discriminate between threshold fat contents did not influence the dietary outcome variables. Neither the R-Index for the comparison of milk with a fat content of 1.5% and 3.5% nor the R-Index for the comparison of the emulsion with a fat content of 70.0% and 90.0% showed any significant influence on the dietary outcome variables (data not shown). In contrast, intensity perception of supra-threshold fat contents had a significant influence on fat intake (see Figure 4). Subjects that rated the perceived fat content of cream with 30.0% fat higher consumed lower amounts of energy from fat during the breakfast buffet ($F(1;93) = 9.954; p < 0.005$). There was no significant influence of the intensity perception of fat on the consumption of the food items.

A significant correlation was found between the intensity perception of fat and the ability to discriminate between threshold differences in fat content. The R-Index for the comparison

of milk with a fat content of 1.5% and 3.5% was negatively correlated with the perceived fat content of milk with a fat content of 3.5% ($r = -0.202$; $p < 0.05$)

3.3 Four-day food record

3.3.1 The influence of gender on reported dietary outcome variables

Table 4 shows the differences between genders in the dietary outcome variables examined from the food record. Gender had a significant main effect on the reported dietary outcome variables of the food record in the discrete model only ($F(4;92) = 3.240$; $p < 0.05$; see Table 4). Separate univariate analysis showed that women reported a higher energy intake from carbohydrates ($F(1;95) = 9.635$; $p < 0.005$) than men. In addition, women reported a lower mean energy intake ($F(1;95) = 23.433$; $p < 0.001$) than men in the discrete model. A tendency for women to consume less energy from fat than men was observed in both the discrete ($F(1;95) = 3.325$; $p = 0.71$) and continuous ($F(1;97) = 3.371$; $p = 0.69$) models.

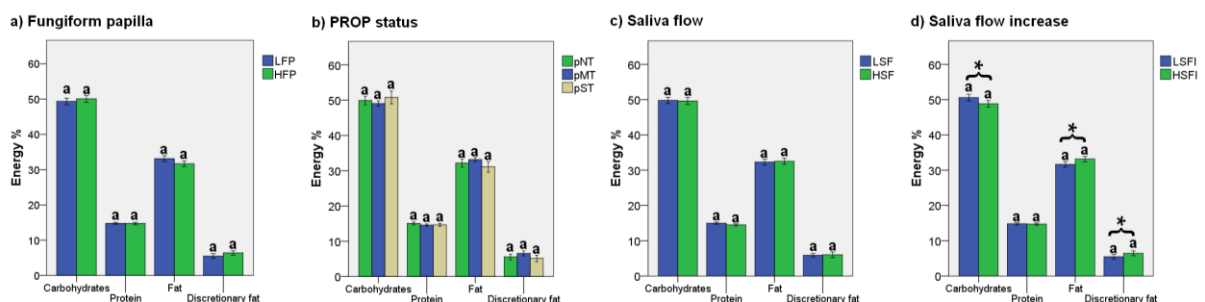
Table 4 Influence of gender on dietary outcome variables examined in the 4-day food record

	Men (N = 27)	Women (N = 80)	Total (N = 107)
<u>Subject characteristic</u>			
Age (yr)	23.89 ± 0.58a	23.35 ± 0.37a	23.49 ± 0.31
BMI (kg/m ²)	23.64 ± 0.47a	22.10 ± 0.34b	22.49 ± 0.29
<u>Dietary intake</u>			
Energy (kJ)	10177.25 ± 488.73a	7765.81 ± 216.91b	8374.31 ± 226.61
Carbohydrate (%)	46.60 ± 1.22a	50.74 ± 0.74b	49.70 ± 0.65
Protein (%)	14.84 ± 0.39a	14.73 ± 0.26a	14.76 ± 0.22
Fat (%)	34.18 ± 1.05a	31.83 ± 0.68a	32.42 ± 0.58
Discretionary fat (%)	6.82 ± 1.21a	5.67 ± 0.46a	5.96 ± 0.46
Mean ± SEM			

Different letters indicate significant differences in energy intake between the groups when the variable was treated as a discrete factor ($p < 0.05$). Significant effects that remained significant ($p < 0.05$) when the variable is treated as continuous factor are marked with *.

3.3.2 The influence of oral physiology on the reported dietary outcome variables

The food record outcome variables were only significantly influenced by the SFI when treated as continuous variable ($F(4;94) = 2.811$; $p < 0.05$; see Figure 3d). In the univariate analysis, subjects with a higher SFI reported a higher mean energy intake from total fat ($F(1;97) = 6.443$; $p < 0.05$) and discretionary fat ($F(1;97) = 6.619$; $p < 0.05$). In contrast, lower energy intake from carbohydrates was reported by subjects with a higher SFI than by subjects ($F(1;97) = 5.570$; $p < 0.05$) with a low SFI. The interaction between gender and PROP bitterness exhibited a significant effect on energy intake from discretionary fat in the continuous model ($F(1;97) = 7.849$; $p < 0.05$). The effect of PROP bitterness on the reported intake of the discretionary fats was primarily observed in men (data not shown). The physiological factors did not have a significant influence on reported energy intake (data not shown).



LFP=low fungiform papillae; HFP=high fungiform papillae; pNT=PROP nontaster; pMT=PROP medium taster; pST=PROP supertaster; LSF=low saliva flow; HSF=high saliva flow; LSFI=low saliva flow increase; HSFI=high saliva flow increase

Fig. 3 The mean (\pm standard error) energy intake from macronutrients and discretionary fat examined from the food record. Different letters indicate significant differences in energy intake between the groups when the variable was treated as a discrete factor ($p < 0.05$). Significant effects that remained significant ($p < 0.05$) when the variable is treated as continuous factor are marked with *.

3.3.3 The influence of fat perception on the reported dietary outcome variables

The dietary outcome variables reported from the food record were significantly influenced by the perceived fat content of milk with 3.5% fat ($F(2;96) = 3.285$; $p < 0.05$) and cream with 30.0% fat ($F(2;96) = 3.665$; $p < 0.05$) (see Figure 4). The univariate analysis showed that

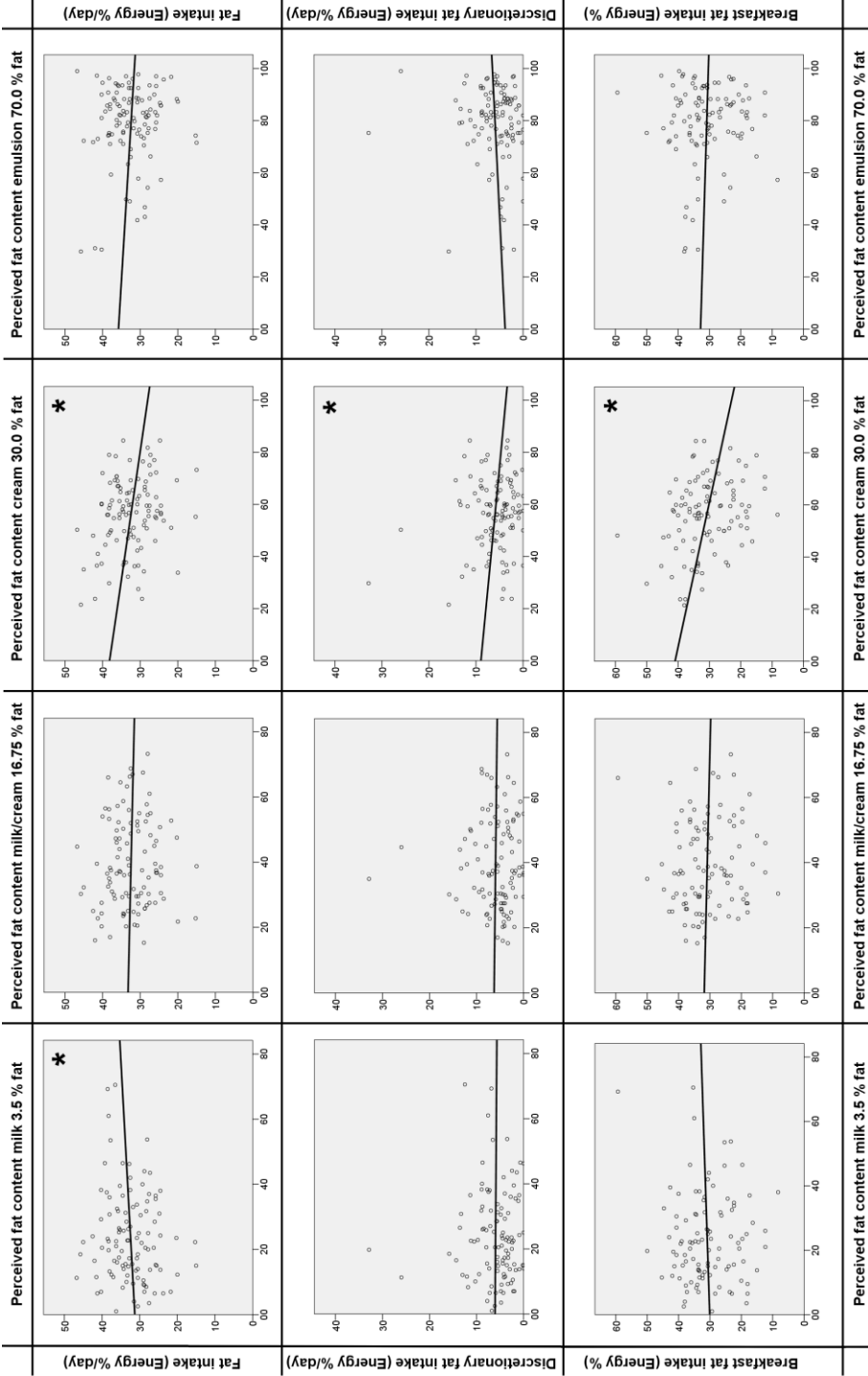


Fig. 4. Scatterplots showing the bivariate relationship between perceived fat content and fat intake during 4 days and a breakfast buffet. Significant effects ($p<0.05$) are marked with *.

subjects with an increased perception of the fat content of the cream sample with 30.0% fat reported consuming lower amounts of energy from total fat ($F(1;97) = 4.160$; $p < 0.05$) and discretionary fats ($F(1;97) = 6.746$; $p < 0.05$). In contrast, subjects that perceived the fat content of milk with 3.5% fat as more intense reported a significantly higher amount of their daily energy from total fat ($F(1;97) = 4.596$; $p < 0.05$). The interactions between gender and the perceived fat contents of the cream samples with 16.75% ($F(2;96) = 3.183$; $p < 0.05$) and 30.0% fat ($F(2;96) = 5.101$; $p < 0.01$) had significant effects on the reported dietary outcome variables. The univariate analysis showed that the interactions were significant for the effect of the perceived fat contents of 16.75% ($F(1;97)=4.004$; $p < 0.05$) and 30.0% ($F(1;97) = 5.811$; $p < 0.05$) fat on the reported intake of discretionary fats. The gender interaction plot of the effect of the perceived fat content of 30.0% fat and the reported intake of the discretionary fats showed that the effect was primarily observed in men (data not shown). The interaction plot for the 16.75% sample showed no differences between men and women. The R-Indices examined from the A-Not-A tests had no significant effects on the reported dietary outcome variables in the food record (data not shown).

4. Discussion

The main objective of our study was to investigate whether differences in PROP bitterness, FP count, saliva flow or fat perception can explain the observed variance in fat intake and food selection. Contrary to our hypothesis (1), PROP bitterness or status was not a significant source of variation in the fat intake or food selection during the breakfast buffet and during the 4 days of the food record. Only in the univariate analysis was the tendency observed that the pST group tended to have a higher fat intake in the breakfast experiment compared to the pMT and pNT groups. This tendency is consistent with the findings reported by Kamphuis and Westerterp-Plantenga (2003) and Yackinous and Guinard (2002) who found that pSTs consumed a greater percentage of their energy from fat than pNTs. However, the differences that we observed were not significant and need to be re-evaluated using modern psychophysical methods to determine PROP bitterness. Moreover, we observed a significant interaction between gender and PROP status with regard to the energy intake from the breakfast buffet. Male pSTs had higher energy intakes than male pNTs, whereas female pSTs had a lower energy intake than female pNTs. The same interaction tended to affect energy intake examined on the basis of the food record but did not reach significance. The reason for

this reversal is unknown. Cognitive control of food intake might be higher in women than in men (Klem, Klesges, Bene, & Mellon, 1990) and mask the effect of PROP bitterness on energy intake in women.

Another objective of our study was to examine the influence of FP count on fat intake and food selection. Consistent with our hypothesis (2), FP count significantly affected the dietary outcome variables of the breakfast buffet. Subjects with lower FP counts consumed more total fat during the breakfast buffet than subjects with higher FP counts. In addition, we were able to identify specific food items (full-fat spreads and full-fat milk) that contributed to the high fat intake. These results are consistent with those of Duffy and Bartoshuk (2000), who showed that liking of high-fat foods tended to decrease with increasing FP count in women. There was no influence of FP count on the energy intake from cheese or sausage products with different fat contents. We assume that the FP count mainly influences the perception of fat-related texture attributes such as melting, viscosity and creaminess, which are not as obvious in cheese or sausage products.

Our hypothesis (3.1) was not supported by our data. Unstimulated SF had no effect on the dietary outcome variables. In accordance with other authors, we assume that the subjects might become accustomed to their basal salivary flow rate. As a consequence, differences in SF do not influence fat intake (Engelen et al., 2003, Guinard, Zoumas-Morse, & Walchak, 1997 and Neyraud et al., 2012). In contrast, hypothesis (3.2) was confirmed. Subjects with a high SFI had a higher fat intake than subjects with a low SFI. Previous studies in the same cohort showed that SFI increases the perceived fat content of milk-cream mixtures with fat contents between 3.5% and 30.0% (Nachtsheim & Schlich 2013). It must be acknowledged that the SFI in our study was quite small and might be biased based on the subjects' fat clearance ability (Dresselhuis, Stuart, van Aken, Schipper, & Hoog, 2008). These results should be confirmed by way of methods that collect the saliva directly from the salivary glands. Interestingly, in the same cohort, high FP count was also positively correlated with the perceived fat content of milk-cream mixtures with 16.75% and 30.0% fat and a high-fat emulsion with a fat content of 70.0% (Nachtsheim & Schlich 2013) but resulted in a low fat intake. As a consequence, physiological factors that enhance fat perception might not automatically decrease fat intake. We assume that the range of the fat content that is influenced by physiological factors plays an important role. Thus, physiological factors that influence the perception of low fat contents could enhance fat intake, whereas physiological factors that influence the perception of medium or high fat contents decrease fat intake. The relationships between fat perception and fat intake that were observed in our study strengthen

this speculation. The perceived fat content of milk with 3.5% fat was positively correlated with fat intake, and the perceived fat content of cream with 30.0% fat was negatively correlated with fat intake, which supports our hypothesis (4) that fat perception influences fat intake. An increased perception of a low fat content could render foods with low fat contents more palatable, whereas an increased perception of medium or high fat content might result in a lower point of optimal liking, rendering high-fat food unpalatable. Furthermore, an inverse relationship between fat perception and intake seems to exist only in subjects who have an optimal point of liking for fat. Subjects who do not have an optimal point of liking for fat may achieve a greater hedonic value from high-fat products; consequently, a more intense perception of fat might enhance fat intake. This hypothesis was also discussed by Yackinous and Guinard (2002) and by Kamphuis and Westterterp-Plantenga (2003).

However, we only found a significant influence of the intensity perception of fat on the intake of fat, whereas Keller et al. (2012) and Stewart et al. (2010) found an effect of the ability to discriminate threshold fat contents on fat intake. The R-indices that we calculated from the A-Not-A test of the comparison of 1.5% and 3.5% milk and the comparison of 70.0% and 90.0% fat were all smaller than 65.0% (see Nachtsheim and Schlich (2013) for the exact values). The fat content differences we used may have been too small to identify differences between subjects. Furthermore, we found a negative correlation between the R-Index for the comparison of milk with a fat content of 1.5% and 3.5% and the perceived fat content of milk with a fat content of 3.5%. The reason for this negative relation is unclear and needs further investigation into the relationship between intensity perception of supra-threshold fat contents and the ability to discriminate between threshold differences in fat. In general, these results suggest that fat content ratings of milk-cream mixtures might be a useful measure to explain individual differences in the intake of discretionary and total fat.

Energy intake from fat was examined in our study based on a breakfast buffet and a 4-day food record. Our results showed that direct intake measures such as a breakfast experiment are more appropriate for finding significant effects of oral phenotypic markers on fat intake and food selection. The dietary outcome variables of the breakfast buffet showed more significant effects than the outcome variables of the food record. The food record data showed that subjects with a high FP count consumed less full-fat milk and spreads (data not shown), but the effect did not reach significance. This difference may be due to underreporting, underestimating or inaccurate estimation of the portion size of spreads and milk in the food record. Interestingly, all previous studies that measured the effect of oral phenotypic markers on food intake in real eating situations found significant results, although they were

contradictory (Kamphuis & Westerterp-Plantenga, 2003 and Tepper et al., 2011). The differences in the observed results may be due to differences in the methods used to measure PROP status, food items investigated and gender differences in the cohorts. The subjects in the study of Tepper et al. (2011) were all women, whereas the Kamphuis and Westerterp-Plantenga (2003) study included men and women, although women were overrepresented. The relationship between oral phenotypic markers and fat intake might be product and gender specific.

We analyzed our results as both continuous and discrete variables. We found that in analyses classifying the data as discrete variables, the significant main effect of SFI on fat intake could not be detected, whereas analyses using the continuous variables did not detect the effect of FP count on fat intake from the breakfast buffet. A mathematical discussion of the data is beyond the scope of this paper. However, the data show that the measurement level of the variables influence the detection of significant main effects and may explain the contradictory results in earlier studies. Furthermore, the data support the suggestion of Welch et al. (2005) that results should be analyzed and presented as continuous and discrete data.

As far as our fat content intensity ratings are concerned, we observed a level effect. The fat content ratings of the first repetition were significantly higher than the fat content ratings of the second and third repetition. To our knowledge this is the first study that conducted repetitions of fat content intensity ratings. Using a general Labeled Magnitude Scale may have deleted the Level effect but would not have accounted for individual variation in sensation. We assume that at least two repetitions are necessary to obtain reliable results for fat content intensity ratings as suggested by Lim et al. (2008) for taste intensity ratings.

Several limitations of the method we used to measure PROP bitterness and status must be acknowledged. The uses of NaCl as a standard as well as the use of the LMS to examine PROP bitterness can attenuate the effect size of PROP bitterness and PROP status (Bajec & Pickering, 2008, Bartoshuk et al., 2006 and Hayes et al., 2008). This may have led to an underestimation of the effect of PROP bitterness and status on the intake of fat and energy.

Furthermore, methodological limitations of our study cohort must be considered. The data were collected from healthy college students who were mostly of normal weight. These subjects might not have enough variability in the intake of discretionary and total fat to permit the detection of significant effects of the oral phenotypic markers. Moreover, dietary restraint was not measured in our study cohort. Only dieting subjects were excluded from the study. Dietary restraint can affect the intake of discretionary fat, total fat and energy (Alexander &

Tepper, 1995). Excluding subjects with high dietary restraint or incorporating a dietary restraint score in the statistical model might have enhanced the effect size of the oral phenotypic markers on fat and energy intake.

Finally, it must be recognized that there are many other factors (social, cognitive, cultural attitudes) that affect fat intake (Köster, 2009). In order to control these effects, it would be of great interest to include these factors in future studies. More interdisciplinary studies that measure real eating behavior in non-college student cohorts should be conducted.

Conclusion

Our results extend our previous findings in the same cohort, showing that FP count influences fat perception (Nachtsheim & Schlich 2013), and consequently fat intake, during a breakfast buffet. Furthermore, SFI was identified as oral phenotypic marker that influenced fat intake over 4 days, but this finding affords further investigation. No effect of PROP bitterness on fat intake was observed, but possibly this can be attributed to the use of conservative scaling methods. Several interactions between oral phenotypic markers and gender were observed, indicating that the effects might be gender specific. The intensity perception of supra-threshold differences in fat content had a significant influence on discretionary and total fat intake. The direction of the relationship seems to depend on the magnitude of the fat content. Additional studies are needed to determine the relationship between fat content and acceptance of different foods with respect to gender and oral phenotypic markers.

Acknowledgments

This manuscript was written in partial fulfillment of the requirements of a doctoral thesis at the Justus Liebig University, Giessen (Germany). The authors thank Anna Diemann, M.Sc. and Andrea Schollmeyer, M.Sc. for their support in conducting the study and in collecting the data. This study was founded by Walter Rau Lebensmittelwerke GmbH (Hilter, Germany). The authors declare no conflict of interest.

References

- Alexander, J. M., & Tepper, B. J. (1995). Use of Reduced-Calorie/Reduced-Fat Foods by Young Adults: Influence of Gender and Restraint. *Appetite*, 25(3), 217–230.
- Bajec, M. R., & Pickering, G. J. (2008). Thermal taste, PROP responsiveness, and perception of oral sensations. *Physiology & Behavior*, 95(4), 581–590.
- Bartoshuk, L. M., Duffy, V. B., Hayes, J. E., Moskowitz, H. R., & Snyder, D. J. (2006). Psychophysics of sweet and fat perception in obesity: problems, solutions and new perspectives. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 361(1471), 1137–1148.
- Bartoshuk, L. M., Duffy, V. B., & Miller, I. J. (1994). PTC/PROP tasting: anatomy, psychophysics, and sex effects. *Physiology & behavior*, 56(6), 1165–1171.
- Borazon, E. Q., Villarino, B. J., Magbuhat, R. M. T., & Sabandal, M. L. (2012). Relationship of PROP (6-n-propylthiouracil) taster status with body mass index, food preferences, and consumption of Filipino adolescents. *Food Research International*, 47(2), 229–235.
- Brunner, E., Stallone, D., Juneja, M., Bingham, S., & Marmot, M. (2001). Dietary assessment in Whitehall II: comparison of 7 d diet diary and food-frequency questionnaire and validity against biomarkers. *British Journal of Nutrition*, 86(03), 405–414.
- Carlsen, M., Lillegaard, I., Karlsen, A., Blomhoff, R., Drewnowski, C., & Andersen, L. (2010). Evaluation of energy and dietary intake estimates from a food frequency questionnaire using independent energy expenditure measurement and weighed food records. *Nutrition Journal*, 9(1), 37.
- Correa, M., Hutchinson, I., Laing, D. G., & Jinks, A. L. (2013). Changes in Fungiform Papillae Density During Development in Humans. *Chemical Senses*, 38, 519–527.
- Dawes, C. (1987). Physiological factors affecting salivary flow rate, oral sugar clearance, and the sensation of dry mouth in man. *Journal of Dental Research*, 66, 648–653.
- Dresselhuys, D. M., Stuart, M. A. C., van Aken, G. A., Schipper, R. G., & Hoog, E. H. A. de. (2008). Fat retention at the tongue and the role of saliva: Adhesion and spreading of ‘protein-poor’ versus ‘protein-rich’ emulsions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 321(1), 21–29.
- Drewnowski, A. (1997). Taste preferences and food intake. *Annual review of nutrition*, 17, 237–253.

- Drewnowski, A., Henderson, S. A., & Barratt-Fornell, A. (1998). Genetic sensitivity to 6-n-propylthiouracil and sensory responses to sugar and fat mixtures. *Physiology & behavior*, 63(5), 771–777.
- Drewnowski, A., Henderson, S. A., & Cockcroft, J. E. (2007). Genetic sensitivity to 6-n-propylthiouracil has no influence on dietary patterns, body mass indexes, or plasma lipid profiles of women. *Journal of the American Dietetic Association*, 107(8), 1340–1348.
- Duffy, V. B. (2007). Variation in oral sensation: implications for diet and health. *Current Opinion in Gastroenterology*, 23, 171-177.
- Duffy, V.B., & Bartoshuk L. M. (2000). Food acceptance and genetic variation in taste. *Journal of the American Dietetic Association*, 100, 647-655.
- Engelen, L., de Wijk, R. A., Prinz, J. F., van der Bilt, A., & Bosman, F. (2003). The relation between saliva flow after different stimulations and the perception of flavor and texture attributes in custard desserts. *Physiology & Behavior*, 78(1), 165–169.
- Essick, G. K., Chopra, A., Guest, S., & McGlone, F. (2003). Lingual tactile acuity, taste perception, and the density and diameter of fungiform papillae in female subjects. *Physiology & behavior*, 80(2-3), 289–302.
- Galindo, M. M., Voigt, N., Stein, J., van Lengerich, J., Raguse, J.-D., Hofmann, T., Meyerhof, W., & Behrens, M. (2012). G Protein-Coupled Receptors in Human Fat Taste Perception. *Chemical Senses*, 37(2), 123-139.
- Goldstein, G. L., Daun, H., & Tepper, B. J. (2007). Influence of PROP taster status and maternal variables on energy intake and body weight of pre-adolescents. *Physiology & Behavior*, 90(5), 809–817.
- Green, B. G., Dalton, P., Cowart, B., Shaffer, G., Rankin, K., & Higgins, J. (1996). Evaluating the ‘Labeled Magnitude Scale’ for Measuring Sensations of Taste and Smell. *Chemical Senses*, 21(3), 323–334.
- Guinard, J.-X., Zoumas-Morse, C., & Walchak, C. (1997). Relation Between Parotid Saliva Flow and Composition and the Perception of Gustatory and Trigeminal Stimuli in Foods. *Physiology & Behavior*, 63(1), 109–118.
- Hayes, J. E., Bartoshuk, L.M., Kidd, J. R.; Duffy, V. B. (2008). Supertasting and PROP Bitterness Depends on More Than the TAS2R38 Gene. *Chemical Senses*, 33(3), 255-265.

- Hayes, J. E., & Duffy, V. B. (2007). Revisiting sugar-fat mixtures: sweetness and creaminess vary with phenotypic markers of oral sensation. *Chemical senses*, 32(3), 225–236.
- Hayes, J. E., & Duffy, V. B. (2008). Oral sensory phenotype identifies level of sugar and fat required for maximal liking. *Physiology & behavior*, 95(1-2), 77–87.
- Kamphuis, M. M., & Westerterp-Plantenga, M. S. (2003). PROP sensitivity affects macronutrient selection. *Physiology & behavior*, 79(2), 167–172.
- Keller, K. L., Liang, L. C. H., Sakimura, J., May, D., van Belle, C., Breen, C., Driggin, E., Tepper, B. J., Lanzano, P. C., Deng, L., & Chung, W. K. (2012). Common Variants in the CD36 Gene Are Associated With Oral Fat Perception, Fat Preferences, and Obesity in African Americans. *Obesity*, 20(5), 1066–1073.
- Keller, K. L., Steinmann, L., Nurse, R. J., & Tepper, B. J. (2002). Genetic taste sensitivity to 6-n-propylthiouracil influences food preference and reported intake in preschool children. *Appetite*, 38(1), 3–12.
- Klem, M. L., Klesges, R. C., Bene, C. R., & Mellon, M. W. (1990). A psychometric study of restraint: The impact of race, gender, weight and marital status. *Addictive Behaviors*, 15(2), 147–152.
- Koebnick, C., Wagner, K., Thielecke, F., Dieter, G., Höhne, A., Franke, A., Garcia A. L., Meyer H., Hoffmann I., Leitzmann P., Trippo U., Zunft H. J. (2005). An easy-to-use semiquantitative food record validated for energy intake by using doubly labelled water technique. *Eur J Clin Nutr*, 59(9), 989–995.
- Köster, E. P. (2009). Diversity in the determinants of food choice: A psychological perspective. *Food Quality and Preference*, 20(2), 70–82.
- Lim, J., Urban, L., & Green, B. G. (2008). Measures of individual differences in taste and creaminess perception. *Chemical senses*, 33(6), 493–501.
- Macmillan, N. A., & Creelman C. D. (2005). Detection theory: A user's guide (second edition). New York: Cambridge University Press.
- Nachtsheim, R., & Schlich, E. (2013). The influence of 6-n-propylthiouracil bitterness, fungiform papilla count and saliva flow on the perception of pressure and fat. *Food Quality and Preference*, (29)2, 137–145.

- Neyraud, E., Palicki, O., Schwartz, C., Nicklaus, S., & Feron, G. (2012). Variability of human saliva composition: Possible relationships with fat perception and liking. *Archives of Oral Biology*, 57(5), 556–566.
- O'Brien, S. A., Feeney, E. L., Scannell, A. G. M., Markey, A., & Gibney, E. R. (2013). Bitter Taste Perception and Dietary Intake Patterns in Irish Children. *Journal of Nutrigenetics and Nutrigenomics*, 6(1), 43–58.
- Rolls, E. T. (2012). Mechanisms for Sensing Fat in Food in the Mouth. *Journal of Food Science*, 77(3), S140.
- Sørensen L.B., Møller P., Flint A., Martens M. & Raben A. (2003). Effect of sensory perception of foods on appetite and food intake: a review of studies on humans. *Journal of the International Association for the Study of Obesity*, 27(10), 1152–1166.
- Stewart, J. E., Feinle-Bisset, C., Golding, M., Delahunty, C., Clifton, P. M., & Keast, R. S. J. (2010). Oral sensitivity to fatty acids, food consumption and BMI in human subjects. *The British journal of nutrition*, 104(1), 145–152.
- Tepper, B. J., Neilland, M., Ullrich, N. V., Koelliker, Y., & Belzer, L. M. (2011). Greater energy intake from a buffet meal in lean, young women is associated with the 6-n-propylthiouracil (PROP) non-taster phenotype. *Appetite*, 56(1), 104–110.
- Tepper, B. J., & Nurse, R. J. (1997). Fat perception is related to PROP taster status. *Physiology & behavior*, 61(6), 949–954.
- Tepper, B. J., & Nurse, R. J. (1998). PROP taster status is related to fat perception and preference. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 855, 802–804.
- Tuorila, H., Huotilainen, A., Lähteenmäki, L., Ollila, S., Tuomi-Nurmi, S., & Urala, N. (2008). Comparison of affective rating scales and their relationship to variables reflecting food consumption. *Food Quality and Preference*, 19(1), 51–61.
- Welch, H. G., Schwartz, L. M., & Woloshin, S. (2005). The exaggerated relations between diet, body weight and mortality: the case for a categorical data approach. *Canadian Medical Association Journal*, 172(7), 891–895.
- Westerterp, K. R., & Goris, A. H. C. (2002). Validity of the assessment of dietary intake: problems of misreporting. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 5(5), 489–493.

- Whitehead, M. C., Beeman, C. S., & Kinsella, B. A. (1985). Distribution of taste and general sensory nerve endings in fungiform papillae of the hamster. *American Journal of Anatomy*, 173(3), 185–201.
- Whitehead, M. C., & Kachele, D. L. (1994). Development of fungiform papillae, taste buds, and their innervation in the hamster. *The Journal of Comparative Neurology*, 340(4), 515–530.
- Yackinous, C. A., & Guinard, J.-X. (2002). Relation between PROP (6-n-propylthiouracil) taster status, taste anatomy and dietary intake measures for young men and women. *Appetite*, 38(3), 201–209.
- Yackinous, C., & Guinard, J. X. (2001). Relation between PROP taster status and fat perception, touch, and olfaction. *Physiology & behavior*, 72(3), 427–437.

4 Mittelwerte

Tab. A-1: Mittelwerte \pm Standardfehler der Wiederholungen für die Intensitätsbewertungen des Fettgehalts, der Cremigkeit und der Süße

Fettgehalt	3,5 %			16,75 %			30,0 %			70,0 %		
WDH	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Wahrgenommener Fettgehalt	29,25	24,05	23,38	47,22	37,95	40,86	64,75	57,02	56,00	86,04	79,32	79,41
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
	1,79	1,52	1,43	1,89	1,70	1,66	1,60	1,52	1,71	1,34	1,65	1,49
Cremigkeit	24,00	17,62	17,88	43,68	33,07	35,39	68,82	54,79	54,12	90,06	81,32	80,34
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
	1,50	1,35	1,19	2,03	1,93	1,95	1,61	1,69	1,97	1,09	1,46	1,41
Süße	46,01	46,68	44,84	44,37	46,38	48,02	39,69	40,74	44,04	14,40	17,81	19,30
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
	2,01	2,15	2,29	2,10	2,19	2,05	2,03	1,88	2,14	1,46	1,50	1,67

Tab. A-2: Mittelwerte \pm Standardfehler der Wiederholungen für die Speichelflussmessungen

	Basal [g/min]			Stimuliert [g/min]			Anstieg [g/min]		
Wiederholung	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Speichelfluss	0,38	0,43	0,44	0,55	0,49	0,50	0,17	0,06	0,06
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01

Tab. A-3: Mittelwerte \pm Standardfehler der wahrgenommenen Intensität von Propylthiouracil und NaCl für PROP Nontaster (pNT), PROP Mediumtaster (pMT) und PROP Supertaster (pST)

PROP-Status	NaCl₁ (0,01M)	NaCl₂ (0,05M)	NaCl₃ (0,1M)	NaCl₄ (0,5M)	NaCl₅ (1,0M)	PROP₁ (0,032mM)	PROP₂ (0,176mM)	PROP₃ (0,32mM)	PROP₄ (1,76mM)	PROP₅ (3,2mM)
pNT (N = 36)	6,53	36,17	49,78	70,36	87,17	1,81	4,42	5,64	22,81	44,61
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
	0,80	3,21	3,21	3,54	2,29	0,29	0,65	0,88	2,27	3,47
pMT (N = 57)	6,61	29,14	43,00	66,61	81,23	9,12	26,58	34,84	58,72	63,95
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
	1,08	2,01	2,18	2,50	2,37	1,29	2,04	2,31	2,98	3,36
pST (N = 23)	6,65	24,70	38,39	62,83	82,26	20,78	48,04	60,91	78,78	84,22
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
	1,53	2,96	4,02	4,07	3,25	4,19	4,50	4,45	3,41	3,49

Tab. A-4: Mittelwerte \pm Standardfehler der R-Indizes für PROP Nontaster (pNT), PROP Mediumtaster (pMT) und PROP Supertaster (pST)

PROP-Status	R-Index Milch 1,5 % vs. 3,5 %	R-Index Emulsion 70 % vs. 90 %
pNT (N = 34)	56,23 \pm 2,03	60,88 \pm 2,84
pMT (N = 51)	51,05 \pm 1,96	65,03 \pm 1,98
pST (N = 23)	57,14 \pm 2,61	66,13 \pm 2,53

Tab. A-5: Mittelwerte \pm Standardfehler der R-Indizes für Probanden mit einer hohen Anzahl an Pilzpapillen (HPP) und Probanden mit einer geringen Anzahl an Pilzpapillen (GPP)

Gruppe	R-Index Milch 1,5 % vs. 3,5 %	R-Index Emulsion 70 % vs. 90 %
GPP (N = 55)	54,20 \pm 1,71	65,78 \pm 1,95
HFP (N = 53)	53,75 \pm 1,90	62,07 \pm 2,01

Tab. A-6: Mittelwerte \pm Standardfehler der R-Indizes für Probanden mit einem hohen basalen Speichelfluss (HSP) und Probanden mit einem geringen basalen Speichelfluss (GSP)

Gruppe	R-Index Milch 1,5 % vs. 3,5 %	R-Index Emulsion 70 % vs. 90 %
GSF (N = 54)	55,13 \pm 1,73	62,56 \pm 2,24
HSF (N = 54)	52,82 \pm 1,87	65,36 \pm 1,70

Tab. A-7: Mittelwerte \pm Standardfehler der R-Indizes für Probanden mit einem hohen Speichelflussanstieg (HSPA) und Probanden mit einem geringen Speichelflussanstieg (GSPA)

Gruppe	R-Index Milch 1,5 % vs. 3,5 %	R-Index Emulsion 70 % vs. 90 %
GSFA (N = 54)	54,79 \pm 1,80	65,34 \pm 2,02
HSFA (N = 54)	53,17 \pm 1,81	62,58 \pm 1,95

Tab. A-8: Mittelwerte \pm Standardfehler der Fettgehalts- und Cremigkeitsbewertungen für PROP Nontaster (pNT), PROP Mediumtaster (pMT) und PROP Supertaster (pST)

PROP-Status	Wahrgenommener Fettgehalt				Cremigkeit			
	3,5 %	16,75 %	30,0 %	70,0 %	3,5 %	16,75 %	30,0 %	70,0 %
pNT (N = 34)	22,80 \pm 1,59	38,56 \pm 1,78	58,53 \pm 1,87	79,64 \pm 1,92	18,66 \pm 1,65	34,11 \pm 2,12	55,37 \pm 2,30	82,92 \pm 1,23
pMT (N = 51)	25,74 \pm 2,51	40,86 \pm 2,60	56,52 \pm 2,42	78,58 \pm 2,57	18,09 \pm 1,81	33,95 \pm 2,91	55,47 \pm 2,39	77,70 \pm 2,91
pST (N = 23)	22,32 \pm 3,72	38,86 \pm 2,96	51,71 \pm 2,90	80,08 \pm 3,66	14,99 \pm 2,54	35,02 \pm 2,56	50,51 \pm 3,48	81,37 \pm 2,25

Tab. A-9: Mittelwerte \pm Standardfehler der Fettgehalts- und Cremigkeitsbewertungen für Probanden mit einer hohen Anzahl an Pilzpapillen (HPP) und Probanden mit einer geringen Anzahl an Pilzpapillen (GPP)

Gruppe	Wahrgenommener Fettgehalt				Cremigkeit			
	3,5 %	16,75 %	30,0 %	70,0 %	3,5 %	16,75 %	30,0 %	70,0 %
GPP (N = 55)	21,91 \pm 1,76	36,63 \pm 1,86	53,47 \pm 2,06	76,34 \pm 2,18	17,54 \pm 1,59	31,26 \pm 1,98	52,06 \pm 2,32	79,76 \pm 1,48
HFP (N = 53)	25,59 \pm 2,01	42,29 \pm 1,85	59,67 \pm 1,58	82,50 \pm 1,75	17,97 \pm 1,53	37,32 \pm 2,13	56,94 \pm 1,85	81,93 \pm 2,00

Tab. A-10: Mittelwerte \pm Standardfehler der Fettgehalts- und Cremigkeitsbewertungen für Probanden mit einem hohen basalen Speichelfluss (HSP) und Probanden mit einem geringen basalen Speichelfluss (GSP)

Gruppe	Wahrgenommener Fettgehalt				Cremigkeit			
	3,5 %	16,75 %	30,0 %	70,0 %	3,5 %	16,75 %	30,0 %	70,0 %
GSP (N = 54)	22,55 \pm 1,91	39,80 \pm 1,89	56,96 \pm 1,67	81,03 \pm 1,47	16,46 \pm 1,61	32,99 \pm 2,27	53,41 \pm 2,33	82,70 \pm 1,26
HSF (N = 54)	24,88 \pm 1,87	39,01 \pm 1,90	56,07 \pm 2,10	77,70 \pm 2,44	19,03 \pm 1,49	35,48 \pm 1,89	55,50 \pm 1,90	78,96 \pm 2,12

Tab. A-11: Mittelwerte \pm Standardfehler der Fettgehalts- und Cremigkeitsbewertungen für Probanden mit einem hohen Speichelflussanstieg (HSPA) und Probanden mit einem geringen Speichelflussanstieg (GSPA)

Gruppe	Wahrgenommener Fettgehalt				Cremigkeit			
	3,5 %	16,75 %	30,0 %	70,0 %	3,5 %	16,75 %	30,0 %	70,0 %
GSFA (N = 54)	23,69 \pm 2,08	38,78 \pm 2,00	57,44 \pm 1,84	77,90 \pm 2,24	18,02 \pm 1,65	35,06 \pm 2,22	55,10 \pm 2,05	80,37 \pm 1,92
HSFA (N = 54)	23,74 \pm 1,70	40,03 \pm 1,78	55,58 \pm 1,94	80,82 \pm 1,76	17,47 \pm 1,46	33,41 \pm 1,95	53,81 \pm 2,21	81,29 \pm 1,58

Tab. A-12: Mittelwerte \pm Standardfehler der Energiezufuhr [kJ] und Makronährstoffzufuhr [Energie %] von PROP Nontastern (pNT), PROP Mediumtastern (pMT) und PROP Supertastern (pST) während eines Frühstücksbuffets

PROP-Status	Energie [kJ]	Fett [Energie %]	Kohlenhydrate [Energie %]	Protein [Energie %]
pNT (N = 33)	2562,67 \pm 139,92	30,14 \pm 1,41	52,47 \pm 1,31	17,23 \pm 0,51
pMT (N = 47)	2798,14 \pm 129,29	30,01 \pm 1,22	53,71 \pm 1,22	16,13 \pm 0,50
pST (N = 23)	2916,23 \pm 316,43	33,62 \pm 1,99	50,03 \pm 1,78	16,23 \pm 0,76

Tab. A-13: Mittelwerte \pm Standardfehler der Energiezufuhr [kJ] und Makronährstoffzufuhr [Energie %] von Probanden mit einer hohen Anzahl an Pilzpapillen (HPP) und Probanden mit einer geringen Anzahl an Pilzpapillen (GPP) während eines Frühstücksbuffets

Gruppe	Energie [kJ]	Fett [Energie %]	Kohlenhydrate [Energie %]	Protein [Energie %]
GPP (N = 53)	2796,07	32,37	50,80	16,65
	\pm	\pm	\pm	\pm
	137,21	1,19	1,16	0,46
HPP (N = 50)	2699,25	29,26	54,28	16,35
	\pm	\pm	\pm	\pm
	152,87	1,18	1,08	0,48

Tab. A-14: Mittelwerte \pm Standardfehler der Energiezufuhr [kJ] und Makronährstoffzufuhr [Energie %] von Probanden mit einem hohen basalen Speichelfluss (HSP) und Probanden mit einem geringen basalen Speichelfluss (GSP) während drei Frühstücksbuffets

Gruppe	Energie [kJ]	Fett [Energie %]	Kohlenhydrate [Energie %]	Protein [Energie %]
GSF (N = 51)	2721,95	31,45	51,71	16,64
	\pm	\pm	\pm	\pm
	134,61	1,27	1,18	0,48
HSF (N = 52)	2775,66	30,27	53,26	16,37
	\pm	\pm	\pm	\pm
	154,25	1,13	1,11	0,45

Tab. A-15: Mittelwerte \pm Standardfehler der Energiezufuhr [kJ] und Makronährstoffzufuhr [Energie %] von Probanden mit einem hohen Speichelflussanstieg (HSPA) und Probanden mit einem geringen Speichelflussanstieg (GSPA) während drei Frühstücksbuffets

Gruppe	Energie [kJ]	Fett [Energie %]	Kohlenhydrate [Energie %]	Protein [Energie %]
GSFA (N = 50)	2746,53	30,15	53,12	16,60
	\pm	\pm	\pm	\pm
	143,16	1,20	1,14	0,47
HSFA (N = 53)	2751,47	31,53	51,90	16,42
	\pm	\pm	\pm	\pm
	146,53	1,20	1,14	0,46

Tab. A-16: Mittelwerte \pm Standardfehler der Lebensmittelzufuhr [Energie %] von PROP Nontastern (pNT), PROP Mediumtastern (pMT) und PROP Supertastern (pST) während drei Frühstücksbuffets

PROP-Status	Margarine 39 % Fett	Margarine 80 % Fett	Butter 83,2 %	Milch 1,5 % Fett	Milch $\geq 3,5$ % Fett	Bierschinken 15 % Fett	Schinken 3 % Fett	Salami 40 % Fett	Gouda 28 % Fett	Edamer 16 % Fett	Camembert 41 % Fett
pNT (N = 33)	1,51 \pm 0,53	1,16 \pm 0,66	6,54 \pm 1,17	3,51 \pm 0,94	3,80 \pm 1,51	1,16 \pm 0,60	1,75 \pm 0,44	2,87 \pm 0,85	8,18 \pm 1,14	2,99 \pm 0,64	1,59 \pm 0,64
pMT (N = 47)	1,08 \pm 0,31	0,96 \pm 0,40	8,04 \pm 1,22	3,18 \pm 0,70	3,74 \pm 0,85	1,04 \pm 0,31	1,43 \pm 0,31	0,86 \pm 0,32	5,66 \pm 0,84	4,32 \pm 0,97	3,84 \pm 1,09
pST (N = 23)	1,05 \pm 0,42	0,76 \pm 0,76	9,14 \pm 1,81	3,85 \pm 1,20	2,45 \pm 0,83	1,64 \pm 0,78	1,27 \pm 0,42	2,85 \pm 1,23	9,32 \pm 2,30	1,44 \pm 0,45	4,11 \pm 1,42

Tab. A-17: Mittelwerte \pm Standardfehler der Lebensmittelzufuhr [Energie %] von Probanden mit einer hohen Anzahl an Pilzpapillen (HPP) und Probanden mit einer geringen Anzahl an Pilzpapillen (GPP) während drei Frühstücksbuffets

Gruppe	Margarine 39 % Fett	Margarine 80 % Fett	Butter 83,2 %	Milch 1,5 % Fett	Milch $\geq 3,5$ % Fett	Bierschinken 15 % Fett	Schinken 3 % Fett	Salami 40 % Fett	Gouda 28 % Fett	Edamer 16 % Fett	Camembert 41 % Fett
GPP (N = 53)	0,86 \pm 0,25	1,78 \pm 0,61	7,78 \pm 1,17	2,22 \pm 0,46	4,90 \pm 1,10	1,38 \pm 0,44	1,56 \pm 0,30	2,43 \pm 0,61	8,04 \pm 1,20	3,47 \pm 0,72	3,03 \pm 0,88
HPP (N = 50)	1,58 \pm 0,40	0,13 \pm 0,09	7,83 \pm 1,03	4,72 \pm 0,89	1,96 \pm 0,57	1,04 \pm 0,40	1,43 \pm 0,32	1,44 \pm 0,58	6,48 \pm 0,86	3,02 \pm 0,72	3,34 \pm 0,91

Tab. A-18: Mittelwerte \pm Standardfehler der Lebensmittelzufuhr [Energie %] von Probanden mit einem hohen basalen Speichelfluss (HSP) und Probanden mit einem geringen basalen Speichelfluss (GSP) während drei Frühstücksbuffets

Gruppe	Margarine 39 % Fett	Margarine 80 % Fett	Butter 83,2 %	Milch 1,5 % Fett	Milch $\geq 3,5$ % Fett	Bierschinken 15 % Fett	Schinken 3 % Fett	Salami 40 % Fett	Gouda 28 % Fett	Edamer 16 % Fett	Camembert 41 % Fett
GSF (N = 51)	1,42 \pm 0,39	1,29 \pm 0,55	7,90 \pm 1,09	3,53 \pm 0,75	3,89 \pm 1,02	1,19 \pm 0,39	1,40 \pm 0,29	2,17 \pm 0,70	6,96 \pm 1,10	3,80 \pm 0,80	3,38 \pm 0,87
HSF (N = 52)	1,01 \pm 0,27	0,68 \pm 0,35	7,72 \pm 1,13	3,34 \pm 0,70	3,07 \pm 0,80	1,24 \pm 0,45	1,59 \pm 0,33	1,74 \pm 0,48	7,60 \pm 1,02	2,71 \pm 0,62	2,98 \pm 0,92

Tab. A-19: Mittelwerte \pm Standardfehler der Lebensmittelzufuhr [Energie %] von Probanden mit einem hohen Speichelflussanstieg (HSPA) und Probanden mit einem geringen Speichelflussanstieg (GSPA) während drei Frühstücksbuffets

Gruppe	Margarine 39 % Fett	Margarine 80 % Fett	Butter 83,2 %	Milch 1,5 % Fett	Milch $\geq 3,5$ % Fett	Bierschinken 15 % Fett	Schinken 3 % Fett	Salami 40 % Fett	Gouda 28 % Fett	Edamer 16 % Fett	Camembert 41 % Fett
GSFA (N = 50)	1,43 \pm 0,36	0,73 \pm 0,41	6,97 \pm 1,05	3,37 \pm 0,60	2,40 \pm 0,75	1,80 \pm 0,50	1,50 \pm 0,32	1,71 \pm 0,67	6,82 \pm 1,06	3,36 \pm 0,84	3,99 \pm 1,02
HSFA (N = 53)	1,00 \pm 0,31	1,21 \pm 0,50	8,60 \pm 1,15	3,49 \pm 0,82	4,49 \pm 1,02	0,66 \pm 0,31	1,50 \pm 0,30	2,17 \pm 0,52	7,72 \pm 1,06	3,15 \pm 0,60	2,41 \pm 0,75

Tab. A-20: Mittelwerte \pm Standardfehler der Energiezufuhr [kJ] und Makronährstoffzufuhr [Energie %] von PROP Nontastern (pNT), PROP Mediumtastern (pMT) und PROP Supertastern (pST) während vier Tagen

PROP-Status	Energie [kJ]	Fett [Energie %]	Kohlenhydrate [Energie %]	Protein [Energie %]	Zusätzliche Fette [Energie %]
pNT (N = 34)	8275,36	32,18	49,90	15,07	5,59
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
	350,72	1,13	1,21	0,43	0,78
pMT (N = 50)	8440,42	33,19	49,07	14,59	6,58
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
	332,09	0,67	0,78	0,32	0,72
pST (N = 23)	8376,85	31,11	50,78	14,66	5,15
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
	585,86	1,51	1,82	0,42	0,93

Tab. A-21: Mittelwerte \pm Standardfehler der Energiezufuhr [kJ] und Makronährstoffzufuhr [Energie %] von Probanden mit einer hohen Anzahl an Pilzpapillen (HPP) und Probanden mit einer geringen Anzahl an Pilzpapillen (GPP) während vier Tagen

Gruppe	Energie [kJ]	Fett [Energie %]	Kohlenhydrate [Energie %]	Protein [Energie %]	Zusätzliche Fette [Energie %]
GPP (N = 55)	8528,70	33,14	49,35	14,77	5,51
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
	318,21	0,82	0,91	0,27	0,68
HFP (N = 52)	8211,01	31,66	50,06	14,75	6,42
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
	324,35	0,80	0,95	0,35	0,62

Tab. A-22: Mittelwerte \pm Standardfehler der Energiezufuhr [kJ] und Makronährstoffzufuhr [Energie %] von Probanden mit einem hohen basalen Speichelfluss (HSP) und Probanden mit einem geringen basalen Speichelfluss (GSP) während vier Tagen

Gruppe	Energie [kJ]	Fett [Energie %]	Kohlenhydrate [Energie %]	Protein [Energie %]	Zusätzliche Fette [Energie %]
GSF (N = 54)	8229,53	32,31	49,77	14,99	5,88
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
	305,99	0,79	0,87	0,32	0,49
HSF (N = 53)	8521,81	32,53	49,62	14,52	6,03
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
	336,56	0,85	0,99	0,30	0,79

Tab. A-23: Mittelwerte \pm Standardfehler der Energiezufuhr [kJ] und Makronährstoffzufuhr [Energie %] von Probanden mit einem Speichelflussanstieg (HSPA) und Probanden mit einem geringen Speichelflussanstieg (GSPA) während vier Tagen

Gruppe	Energie [kJ]	Fett [Energie %]	Kohlenhydrate [Energie %]	Protein [Energie %]	Zusätzliche Fette [Energie %]
GSFA (N = 53)	8255,28	31,66	50,58	14,80	5,48
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
	308,83	0,83	0,94	0,30	0,61
HSFA (N = 54)	8491,13	33,17	48,83	14,71	6,43
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm
	333,38	0,79	0,90	0,32	0,69

5 Formeln

Tab. A-24: Berechnung des R-Index

		Antwort									
		Nicht A – Sehr Sicher	Nicht A – Sicher	Nicht A – Unsicher	Nicht A – Sehr unsicher	A – Sehr unsicher	A – Unsicher	A – Sicher	A – Sehr sicher	Total	
Probe	Nicht A (3,5 %)	a	b	c	d	e	f	g	h	$N_1 (=a + b + c + d + e + f + g + h)$	
	A (1,5 %)	i	j	k	l	m	n	o	p	$N_2 (=i + j + k + l + m + n + o + p)$	

$$\text{R-Index} = \frac{a(j+k+l+m+n+o+p) + b(k+l+m+n+o+p) + c(l+m+n+o+p) + d(m+n+o+p) + e(n+o+p) + f(o+p) + gp + 0.5(ai+bj+ck+dl+em+fn+go+hp)}{N_1 N_2} \times 100$$

Persönliche Erklärung

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“

Ort, Datum

Unterschrift:



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890
redaktion@doktorverlag.de
www.doktorverlag.de

ISBN: 978-3-8359-6191-3



9 783835 196191 3